Zamin Azmoon Group

رسوب‌شناسی

آمادگی آزمون کارشناس‌ارشد و دکتری زمین‌شناسی

گروه آموزشی و پژوهشی زمین آزمون

Dr. Ramin Samadi
www.zaminazmoon.com

بسم الله الرحمن الرحیم

ZaminAzmoon Group

جزوات وقف عام گروه زمین آزمون

غیر قابل فروش



رسوب‌شناسی

جزوات آمادگی آزمون کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی

بسمه تعالی

پیامبر خدا (صلی الله علیه و آله و سلم) فرمودند:

هرگاه مؤمن یک برگه که روی آن علمی نوشته شده باشد از خود بر جای گذارد، روز قیامت آن برگه پرده میان او و آتش می شود و خداوند تبارک و تعالی به ازای هر حرفی که روی آن نوشته شده، شهری هفت برابر پهناورتر از دنیا به او می دهد.

سلام علیکم؛

ایزد دانا را سپاس می گوییم که ما را یاری بخشید تا بتوانیم در زمینه تحقق آرمان های علمی و میهنی خویش، گامی دیگر برداریم. «زمین آزمون» با هدف ایجاد بانک اطلاعاتی جزوات آمادگی آزمون کارشناسی ارشد و دکتری زمین شناسی و نیز کمک به دانشجویان و محققین این رشته در سال ۱۳۸۶ آغاز به فعالیت نمود. در این راه استادان و دانشجویان و پژوهشگران محترمی با هم فکری خود به ما یاری رسانده اند که اگر این هم فکری و کمک ها نبود شاید این مهم ناتمام می ماند.

اکنون به پاس ۱۰ سال تلاش صادقانه گروه آموزشی و پژوهشی زمین آزمون، هزاران امید و تلاش به ثمر نشسته است و فرهیختگان بسیاری همراه ما با موفقیت در دوره های کارشناسی ارشد و دکتری زمین شناسی تحصیل نموده اند. برای پاسداشت علم و ترویج علم مقدس زمین شناسی، گروه زمین آزمون کلیه جزوات آمادگی آزمون کارشناسی ارشد و دکتری زمین شناسی خود را به صورت وقف عام به همه فرهیختگان جامعه علمی زمین شناسی ایران تقدیم می نماید. شایسته است از زحمات آقای مهندس مجتبی رجبی، خانم دکتر نرگس شیردشت زاده، خانم مهندس پیترا محمودزاده، آقای مهندس رسول صادقی و دیگر بزرگواران تقدیر گردد. بی گمان این مجموعه از کاستی ها و نواقص احتمالی مبری نیست ولی می تواند مسیری روشن را پیرامون داوطلبان محترم و پژوهشگران گرامی بگشاید. پیروزی و موفقیت شما را در تمامی آزمون های زندگی آرزومندیم.

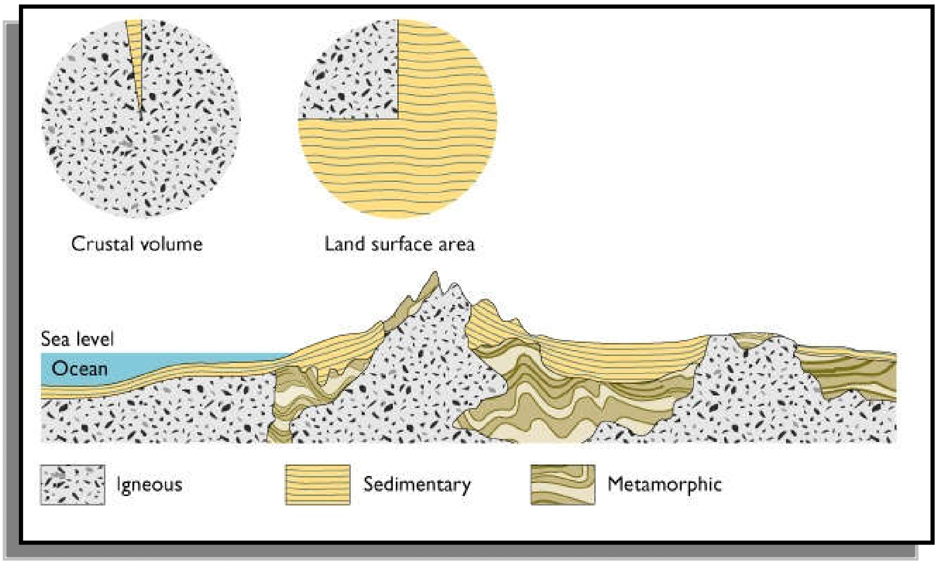
مدیر گروه مؤلفین زمین آزمون

دکتر رامین صمدی

سنگهای رسوبی و رسوبات در حدود ۷۵٪ سطح زمین را تشکیل می دهند؛ امـا از نظـر حجمـی در حدود ۵٪ از پوسته جامد زمین را تشکیل می دهند.

رسوب به چه موادی می گویند:

۱- تخریب مواد جامد پوسته زمین
۲- حمل و نقل آنها بوسیله آب و باد و یخ
۳- اشباع شدن مواد شیمیایی محلول در آب
۴- از ترشح موجودات زنده



کلمه رسوب یا Sediment از کلمه لاتین Sedimentum مشتق شده است که به معنی روی هم قرار گرفتن یا رسوب کردن می باشد.

تعریف رسوب: رسوب به تمام موادی اطلاق می شود که از تخریب مواد جامد پوسته زمین و حمـل و نقل آنها بوسیله آب، باد و یخ نتیجه شده یا از اشباع شدن مواد شـیمیایی محلـول در آب و یـا از ترشح موجودات زنده سرچشمه گرفته اند که در نهایت بصورت لایه هایی در سـطح پوسـته جامـد زمین رسوب کرده اند. بطور کلی رسوب ممکن است به طریقه فیزیکی، شیمیایی و یا بیوشـیمیایی تشکیل شده باشد.

واژه رسوب شناسی (Sedimentology) که در سـال ۱۹۳۲ توسـط ودل عنـوان شـده اسـت بـه مطالعه علمی موادی اطلاق می شود که در سطح پوسته جامد زمین رسوب کرده اند.

در اینجا به تعریف برخی از واژه ها اشاره ایی می شود:

رسوبگذاری (Sedimentation): مطالعه علمی فرآیندهایی است که باعث رسـوبگذاری شـده امـا دیاژنز را شامل نمی شود.

سنگ شناسی رسوبی (Sedimentary Petrology): مطالعه مگاسکوپی و میکروسکوپی سنگها و تعبیر و تفسیر چگونگی تشکیل آنها.

چینه شناسی (Stratigraphy): مطالعه علمی طبقات و تعبیر و تفسیر وضعیت جغرافیای گذشته یا پالئوژئوگرافی (Paleogeography) است. چینه شناسی خود شامل دو بخش لیتواستراتیگرافی (Lithostratigraphy) و بایواستراتیگرافی (Biostratigraphy) اسـت کـه بـه ترتیـب شـامل مطالعه اختصاصات فیزیکی و فسیلهای موجود در طبقات می باشد.

مگاسدیمنتولوژی (Megasedimentology): عبارت از مطالعه و بررسـی رسـوب شناسـی یـک منطقه وسیع است.

با توجه به توضیحات فوق، فریدمن و سندرز یک تعریف کلی برای رسوب شناسی ارائـه کردنـد کـه عبارت از مطالعه زمین شناسی سنگها یا ته نشستهای رسوبی می باشد. حـال در رابطـه بـا تعریـف فوق یک رسوب شناس باید قادر باشد که رخساره های مختلف را در یک توالی عمودی (Vertical Sequence) و همچنین تغییرات جانبی (Lateral change) مورد بررسی قـرار دهـد و محـیط رسوبگذاری آنها را تعبیر و تفسیر نماید.

با استفاده ازتعاریف بالا به این نتیجه می رسیم که رسوب شناسی عبارت است از بررسی و مطالعـه مواد رسوبی «سخت نشده و سخت شده» و تمام فرآیندهایی است که باعث تشـکیل آنهـا گردیـده است.

جیمـــز هـــاتن در اواخـــر قـــرن ۱۸ و ســـپس چـــارلزلی یـــال اصـــل یونیفرمیتریـــانیزم (Uniformitarianism) را عنوان کردند. آنها معتقدند که فرآیندهای زمین شناسی در تمام ادوار گذشته و حال زمین بطور یکنواخت عمل کرده است؛ بنابراین می توان تمام سنگهای رسوبی قدیمه را بر اساس فرآیندهایی که امروزه در محیطهای رسوبی مختلف عمل می کند و یا بصـورتی کـه در آزمایشگاه مشاهده می شود تعبیر و تفسیر کرد؛ لذا مطالعه رسوبات عهد حاضر مـی توانـد کلیـدی برای درک بهتر سنگهای رسوبی قدیمه باشد.

در سال ۱۹۰۵، شخص دیگری بنام جی کی (Geikie) اصل «امروزه کلیدی بر ادوار گذشته است» (The present key to the past) را عنوان کرد. در این اصل فرآینـدهای رسـوبگذاری کـه در محیطهای رسوبی عهد حاضر عمل می کنند برای تعبیر و تفسیر رسوبات قدیمه استفاده می شـود. این اصل امروزه از نظر رسـوب شناسـان بعنـوا اصـل حقیقـی (حقیقـت گرایـی) (Principal of Actualism) نامیده می شود.

بنابراین از دو اصل بالا چنین بر می آید که سنگهای رسوبی قدیمه را می توان بر اساس فرآیندهایی که امروزه در محیطهای مختلف رسوبی عمل می کنند و یا این که در آزمایشگاه تهیه می شوند تعبیر و تفسیر کرد و مدل رسوبی برای آنها ارائه نمود.

کاربرد رسوب شناسی

از کاربردهای رسوب شناسی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- از آنجایی که عمده نفت و گاز در داخل سنگ رسوبی قرار دارد آشنایی با علم رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی حائز اهمیت است.
- سفره های آب زیر زمینی در رسوبات و سنگهای رسوبی وجود دارد و یکی از کاربردهای رسوب شناسی در پیدا کردن لایه های آبدار می باشد.
- برخی از مواد معدنی با ارزش مثل زغال سنگ، گچ، نمک، طلا، پلاتین، سرب، روی، باریت و بوکسیت در اثر فرآیندهای رسوبی تشکیل می شوند و جزء کانسارهای رسوبی محسوب می شوند. درنتیجه برای اکتشاف آنها بایستی از علم رسوب شناسی کمک گرفت.
- با شمارش تعداد لایه های رسوبی دانه درشت رودخانه ها که در اثر سیلاب تشکیل شده اند و سن یابی لایه ها از طریق کربن ۱۴ می توان دوره تناوب و قوع سیلاب ها را در منطقه پیش بینی نمود و از زمان وقوع سیلابهای بعدی در آینده آگاه شد.

علاوه بر موارد بالا، رسوب شناسی در زمینه های مختلف زندگی ما نیز نقش دارد. برای مثال در صنایع دارویی و غیره.

روش مطالعه رسوبات و سنگهای رسوبی

مطالعه رسوبات محیطهای عهد حاضر برای تعبیر و تفسیر سنگهای رسوبی که در محیطهای مختلف تشکیل شده اند، مورد استفاده قرار می گیرد. بطور کلی پس از انجام عمل رسوبگذاری، ذرات رسوبی بر اثر عمل دیاژنز به سنگ تبدیل می شوند؛ بنابراین تعبیر و تفسیر محیطهای رسوبی قدیمه بتوسط مطالعات رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی صورت می گیرد. در اینجا روش کلی مطالعه رسوبات و سنگهای رسوبی را بطور مختصر بیان می کنیم. سنگهای رسوبی در صحرا و در آزمایشگاه مورد بررسی و مطالعه قرار می گیرد. چون ممکن است بعضی مواقع مطالعات فقط بر روی اطلاعات بدست آمده از زیرزمین باشد لذا در اینجا این مرحله را نیز بطور خیلی خلاصه بیان می کنیم. ضمناً این روش کلی برای مطالعه تمام سنگهای رسوبی اعم از آواری، شیمیایی و بیو شیمیایی می باشد.

اکنون بطور خلاصه به توصیف هر یک از این سه مرحله می پردازیم:

الف: مطالعات صحرایی یا سطح الارضی: در صورت نبود نقشه زمین شناسی، ابتدا باید نقشه منطقه تهیه گردد. سپس نیمرخ (پروفیل) یا شماتیکی از توپوگرافی منطقه را رسم کرده مقطع چینه

شناسی را در جهت نیمرخ اندازه گیری نمود. در هنگام مقطع گیری توصیف رسوبات به شرح زیر است:

۱- تعیین رنگ رسوبات با استفاده از جدولهای استاندارد (برای سطح هوازده و سطح تازه سنگ بطور جداگانه).
۲- اختصاصات طبقات از قبیل ضخامت، ادامه دار بودن، لامیناسیون و غیره.
۳- کنتاکت بین طبقات (مشخص یا تدریجی).
۴- نمونه برداری از رسوبات یا سنگها در فواصل مشخص یا محلهایی که تغییرات سنگ شناسی یا بافتی بطور واضح قابل رویت است (نمونه هایی که بطور پراکنده برداشت شود برای تعبیر و تفسیر ارزش زیادی نخواهد داشت).
۵- مطالعه بافت یا تکستور که شامل قسمتهای زیر است:
- اندازه ذرات و تغییرات آنها در طبقات.
- مطالعه گردشدگی و کرویت دانه ها.
- جورشدگی.
- بررسی بافت سطح دانه ها، نظیر شیارهای موجود در سطح پبلهای رسوبات یخچالی.
- جهت یافتگی ذرات دانه درشت (پبلها) و در صورت امکان اندازه گیری شیب و جهت این ذرات.
- در صورت امکان توصیف بلوغ بافتی
۶- توصیف ساختمانهای رسوبی (فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی) از قبیل ریپل مارک، ترک های گلی، شیار، فلوت کست و غیره. اندازه گیری شیب و جهت در آن دسته از ساختمانهایی که بعداً برای تعبیر و تفسیر مورد استفاده قرار می گیرد.
۷- سیمان، ماتریکس و فسیلهای موجود در سنگها.
۸- نامگذاری سنگ و در صورت امکان تعیین مینرالوژی ماسه سنگها با استفاده از لوپ.
۹- مقاومت طبقات رسوبی در مقابل عمل فرسایش.

ب: مطالعات تحت الارضی: خرده ها (Cutting)، مغزه ها (Cores) و نمودارهای ژئوفیزیکی (Logs) بدست آمده از چاهها در مطالعات تحت الارضی مورد بررسی قرار می گیرد. ضمناً در صورت وجود خطوط لرزه ایی نیز می توان وضعیت را در زیر زمین بدین روش مشخص نمود.

ج: مطالعات آزمایشگاهی: این گونه مطالعات بطرق زیر صورت می گیرد:
- اندازه گیری قطر ذرات در رسوبات و سنگها به روش های مناسب، برای مثال الک کردن، لوله های آزمایش و ...

- رسم منحنی های اندازه گیری ذرات و محاسبات آماری برای تعبیر و تفسیر شرایط رسوبگذاری.
- رسم دیاگرامهای گل سرخی (Rose Diagram) با استفاده از شیب و جهت ساختمانهای رسوبی اندازه گیری شده در عملیات صحرایی.
- رسم نقشه های هم ضخامت، همسنگی، ساختمانی و غیره با استفاده از اطلاعات بدست آمده.
- مطالعه دانه با میکروسکوپ دوچشمی برای بررسی بافت سطح دانه ها و شکل آنها.
- مطالعه مقاطع نازک بتوسط میکروسکوپ پلاریزان برای تعیین ترکیبات کانی شناسی، بافت، دیاژنز و نامگذاری دقیق سنگ بوسیله شمارش.
- جدا کردن کانی های سنگین از سبک در رسوبات و سنگهای آواری و مطالعه آنها بتوسط میکروسکوپ برای شناسایی و پی بردن به سنگ منشأ آنها.
- شناسایی فسیلها.
- استفاده از میکروسکوپ الکترونی در صورت نیاز.
- استفاده از میکروسکوپ کاتودولومیناسانس (cathodoluminessence) برای شناسایی بهتر کانیهای تشکیل دهنده سنگ و دیاژنز.
- استفاده از اشعه x بویژه برای تشخیص نوع رس در سنگ.

در خاتمه، تلفیق اطلاعات بدست آمده از عملیات صحرایی، مطالعات تحت الارضی، مطالعات آزمایشگاهی به تعبیر و تفسیر محیطهای رسوبی و ارائه مدلهای مربوط منجر می گردد.

بافت یا تکستور رسوبی (Sedimentary Texture)

اندازه، شکل و طرز قرار گرفتن عناصر تشکیل دهنده رسوبات (فابریک) را بافت یا تکستور می گویند. (بافت = Grain Size+Grain Shape+Fabric).

در اینجا بافت در رسوبات آواری و آهکی را بطور جداگانه مورد بحث و بررسی قرار می دهیم.

بافت رسوبات آواری

بافت در رسوبات آواری شامل اندازه، شکل و طرز قرار گرفتن دانه ها (فابریک) می باشد.

۱- اندازه دانه (Grain size):

برای اندازه گیری ذرات از دو مقیاس استفاده می شود. یکی مقیاس میلی متری Udden & Wentworth است و دیگری مقیاس لگاریتمی «فای (Ø)» بنام مقیاس کرومباین می باشد:

$$Ø = -\log_2 d = -Ln_d/Ln_2$$

d قطر ذره بر حسب میلی متر، Ø قطر ذره بر حسب فای می باشد؛ یعنی اگر ذره ای دارای قطر ۲ میلیمتر در مقیاس ادون و ونتورث باشد، در مقیاس کرومباین ۱- فای خواهد بود.

نکته: هر چقدر ذرات درشت تر شوند فای آنها کوچکتر و هرچقدر ذرات ریزتر شوند فای آنها بزرگتر خواهد بود.

ذرات رسوبی بر حسب اندازه شان (میلی متر یا فی) نامگذاری می شوند که در جدول زیر مشاهده می شود.

Millimeters (mm)		Micrometers (µm)	Phi (f)	Wentworth size class		Rock type
	4096		-12.0	Boulder	Gravel	Conglomerate/ Breccia
	256		-8.0	Cobble		
	64		-6.0	Pebble		
	4		-2.0	Granule		
	2.00		-1.0	Very coarse sand	Sand	Sandstone
	1.00		0.0	Coarse sand		
1/2	0.50	500	1.0	Medium sand		
1/4	0.25	250	2.0	Fine sand		
1/8	0.125	125	3.0	Very fine sand		
1/16	0.0625	63	4.0	Coarse silt	Silt	Siltstone
1/32	0.031	31	5.0	Medium silt		
1/64	0.0156	15.6	6.0	Fine silt		
1/128	0.0078	7.8	7.0	Very fine silt		
1/256	0.0039	3.9	8.0	Clay	Mud	Claystone
	0.00006	0.06	14.0			

برای تعیین اندازه و رده بندی ذرات، از **بلندترین قطر ذرات** استفاده می شود. استفاده از مقیاس فای دارای چندین مزیت می باشد:

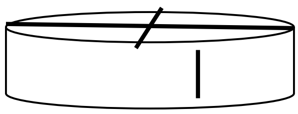
- مقیای فای بصورت اعداد صحیح می باشد ولی مقیاس میلیمتری دارای اعداد اعشاری نیز می باشد و کار با اعداد صحیح (مقیای فای) راحتتر است.
- در رسم منحنی های دانه بندی، اعداد درشت در سمت چپ محور x ها و اعداد ریز در سمت راست محور x ها قرار می گیرند و در صورت استفاده از مقیاس فای اعداد از کم به زیاد در روی محور x قرار می گیرد (بعبارت دیگر می توان گفت که مقیاس فای بصورت معکوس عمل می نماید).
- برای رسم منحنی ها بر حسب مقیاس فای می توان از کاغذهای حسابی استفاده کرد ولی در مقیاس میلیمتری از کاغذهای نیمه لگاریتمی (Semi-Logarithmic) استفاده می شود.

روش اندازه گیری قطر ذرات رسوبی

طرز اندازه گیری قطر ذرات بستگی به اندازه آنها دارد. برای ذرات گراولی از متر یا کولیس، بلندترین قطر آنها را اندازه گیری می کنیم. برای اندازه گیری قطر ذرات ماسه از الک یا آنالیز غربال، میانگین اندازه اندازه ذرات را اندازه گیری می کنیم. برای ذرات سیلت و رس از روش پی پت (متحرک یا ثابت) و یا هیدرومتر، قطر کره معادل را اندازه گیری می کنیم.

مطالعه قلوه سنگها:

اندازه قلوه سنگها را توسط کولیس تعیین می کنند. در قلوه سنگها بایستی اندازه ۳ بعد آنرا بدست آوریم. محور بلند یا طولی را با علامت a یا L، محور متوسط یا عرضی را با علامت b یا l و محور کوچک یا ضخامت را با علامت c یا e نشان می دهند.

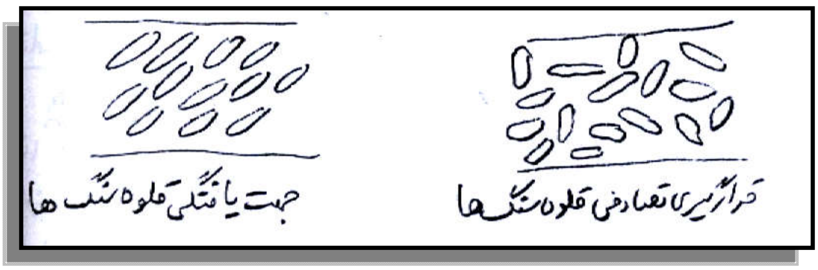


در مطالعه قلوه سنگها دو جنبه در نظر گرفته می شود:

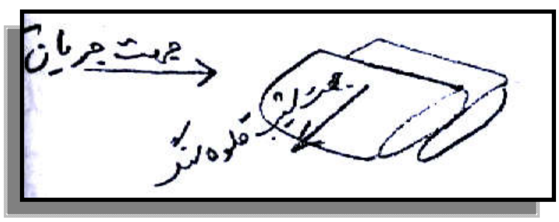
۱- مطالعه نحوه قرار گیری و جهت یافتگی قلوه سنگ

۲- مطالعه شکل قلوه سنگ

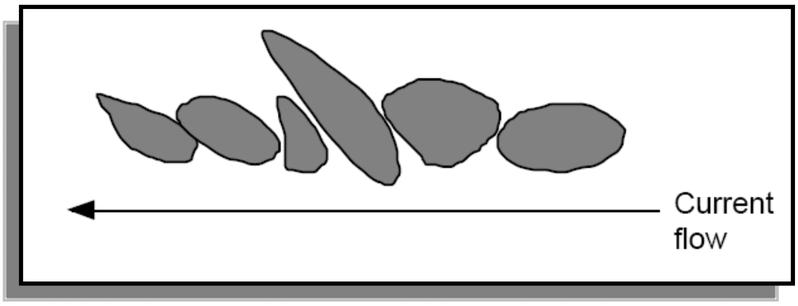
در مورد نحوه قرار گرفتن قلوه سنگها، برخی از قلوه سنگ ها بصورت تصادفی در هر جهتی قرار گرفته ولی برخی دیگر کاملاً جهت دار می باشند (شکل زیر).



اگر انرژی جریان آب خیلی زیاد و در حد سیلاب باشد، قلوه سنگها بصورت تصادفی در هر جهتی قرار می گیرند ولی اگر جریان آب ملایم باشد قلوه سنگها فرصت جهت یافتگی برابر جریان آب را پیدا می نمایند. جهت جریان آب عمود بر جهت شیب قلوه سنگها است (شکل زیر).



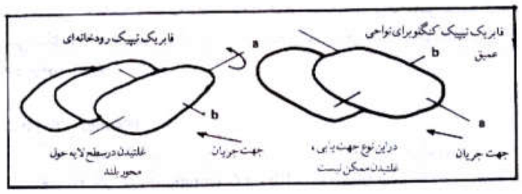
با استفاده از این جهت یافتگی ما می توانیم جهت جریان آب را در رسوبات قدیمی تر بدست آوریم.
با افزایش سرعت آب شیب قرار گیری قلوه سنگها نیز بیشتر می شود.
جهت یافتگی و روی هم قرار گرفتن قلوه سنگها را بر روی یکدیگر، ایمبریکاسیون (Imbrication) می گویند.



لازم به یادآوری است که قلوه سنگها به روش غلتیدن (rolling) و یا کشیده شدن (traction) و سرخوردن (sliding) در کف رودخانه ها حرکت می کنند. قلوه سنگها در ساحل دریاها توسط امواج آب کشیده می شوند. قلوه سنگها دارای اشکال متنوعی هستند. در هر محیط رسوبی برخی از اشکال قلوه سنگها بیشتر می باشد. مثلاً در رودخانه ها درصد قلوه سنگهای کروی یا میله ای شکل (کشیده) بیشتر است ولی در سواحل دریاها قلوه سنگهای دیسکی و پهن زیاد می باشد. بعبارت دیگر طرز حمل ونقل از عوامل مهم در شکل دهی قلوه سنگها است. از عوامل مهم دیگری که شکل قلوه سنگها را کنترل می کند شکل اولیه خرده سنگ در هنگام جدایش از سنگ مادر است (شکل قلوه سنگ تا حدی موروثی می باشد).

✓ **ذکر یک نکته:**

واکر (۱۹۸۴) معتقد است که در کنگلومراهای رودخانه ای پبلها و کابلها که بصورت غلتیدن در کف بستر حرکت می کنند پس از رسوبگذاری محور کشیده یا اصلی آنها بصورت عمود بر جهت جریان آب قرار گرفته و محور متوسط آنها در جهت جریان آب بصورت ایمبریکاسیون قرار می گیرد. ولی در کنگلومراهای مناطق عمیق دریا که دانه ها بصورت توده ای یا پراکنده در آب و بالاتر از کف بستر به توسط جریانهای توربیدایتی حرکت می کنند، وضع فابریک دانه های درشت با رسوبات رودخانه ای فرق دارد و محور اصلی دانه ها به موازات جریان آب قرار داشته و شیب آن در جهت مخالف جریان آب می باشد. بنابر این با استفاده از نوع فابریک دانه های درشت می توان این دو نوع کنگلومرا را از یکدیگر تفکیک کرد.



اختلاف بین فابریک دانه های درشت در کنگلومراهای رودخانه ای و کنگلومراهایی که دانه های درشت آنها در اثر حرکت مجدد رسوبات به توسط جریانهای توربیدایتی تشکیل شده اند (اقتباس از واکر، ۱۹۸۴).

قطر دانه های در حد ماسه را به طرق مختلفی اندازه گیری می کنند. معمولترین روش جهت اندازه گیری رسوباتی در اندازه ماسه روش آنالیز غربال می باشد که در ادامه بطور مفصل راجع به آن صحبت می شود.

روش دیگری که برای اندازه گیری دانه های ماسه معمول می باشد، اندازه گیری بوسیله مقاطع نازک میکروسکوپی است. دراین روش اندازه های بدست آمده برای محاسبات آماری مفید نیست، زیرا با گرفتن مقاطع از سنگ در جهات مختلف دانه ها اندازه های متفاوتی خواهند داشت، ولی می توان به توسط میانگین اندازه دانه های بدست آمده انرژی محیط را تعبیر و تفسیر نمود. اندازه گیری دانه های ماسه به طریق غربال کردن و لوله های رسوبگذاری، دقیقتر از اندازه گیری به طریقه میکروسکوپی می باشد. روش بعدی، لوله های رسوبگذاری است که از روی سرعت سقوط دانه ها، اندازه آنها محاسبه می گردد. گالی هاوس (۱۹۷۱) معتقد است که در روش های غربال کردن و میکروسکوپی فقط اندازه فیزیکی دانه بدست می آید. در صورتی که اغلب رسوبات در زمان و مکان مشخصی بر اساس سقوط دانه ها رسوب کرده اند و این خود تابعی از اندازه فیزیکی دانه نبوده بلکه تابعی از حجم، گردشدگی، کرویت و چگالی دانه می باشد؛ لذا آنالیز به روش رسوبگذاری تنها طریقه ای است که چهار فاکتور گفته شده را در نظر می گیرد.

- روش آنالیز غربال (Sand Sieve Analysis)

جهت انجام آنالیز غربال ابتدا باید مرحله آماده سازی نمونه انجام شود و سپس آنالیز غربال انجام شود. مرحله آماده سازی شامل شستن نمونه، خشک کردن نمونه در آون (Oven)، (نکته: حضور یا عدم حضور رس بر روی درجه حرارت اعمال شده تأثیر دارد، اگر رس موجود باشد تا حدود ۴۰ درجه سانتیگراد و اگر رس موجود نباشد تا حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد). سپس نمونه را وزن کرده و آماده آنالیز غربال می کنیم:

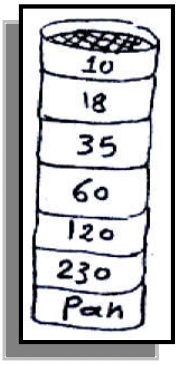
الکها (غربالها) دارای منافذ متفاوتی هستند. اندازه منافذ الک ها بر حسب مش (mesh) سنجیده می شود. هر الک دارای شماره مش (mesh No:) خاص خود می باشد که توسط کارخانه سازنده بر روی الک ها حک شده است.

مش عبارتست از تعداد منافذ موجود در سطح. بطور مثال الک ۱۰ مش دارای ۱۰ منفذ در یک سانتی متر مربع است. پس واضح است *با افزایش شماره مش، تعداد منافذ در واحد سطح الک زیاد شده و اندازه منافذ ریزتر می شود.* (نکته: در الکهای نوع تیلر نسبت منافذ هر الک به الک بعدی $\sqrt{2}$ می باشد).

معمولاً اندازه منافذ الکها هم به میلیمتر، هم به فای. هم به مش مشخص شده است (جدول طبقه بندی ذرات رسوبی). بطور مثال اندازه الک با مش ۱۰ برابر است با ۲ میلیمتر یا ۱- فای.

برای جدا کردن انواع ذرات ماسه (خیلی درشت، درشت، متوسط، ریز و خیلی ریز) از سری الک های ۱۰ مش، ۱۸ مش، ۳۵ مش، ۶۰ مش، ۱۲۰ مش و ۲۳۰ مش استفاده می شود. الک ۲۳۰ مش که به الک ۴ فای نیز معروف است، الکی است که ذرات ماسه را از ذرات گل (گل=رس+سیلت) جدا می کند.

جهت انجام آزمایش الک ها را طوری روی هم می چینیم که درشترین آنها در بالا و ریزترین آنها در پائین سری قرار می گیرد. در زیر الک ۲۳۰ مش ظرفی قرار می گیرد که ته آن بسته است و به آن pan می گویند. (کاربرد pan: این ظرف برای جمع آوری ذرات سیلت و رس) گل که از الک ۲۳۰ مش عبور می کنند بکار می رود.



در مرحله بعد سری الک ها را در جایگاه موجود در دستگاه الک کننده قرار می دهیم (به دستگاه الک کننده شیکر (Shaker) گفته می شود). برای شروع الک کردن مقداری از رسوب آماده شده را با ترازوی دیجیتالی وزن می کنیم و در روی درشت ترین الک می ریزیم و سپس درب الک ها را گذاشته و توسط دو پیچ الک ها را به دستگاه محکم می کنیم. بعد از تنظیم کردن تایمر، دکمه start دستگاه را می زنیم و دستگاه شروع به لرزیدن می کند. بعد از زمان تنظیم شده، دستگاه خاموش می شود و می توانیم الک ها را خارج کنیم و ذرات ماسه ای روی هر الک را وزن نمائیم. به این ترتیب اولاً انواع ذرات ماسه از هم جدا می شود و ثانیاً وزن هر نوع مشخص می گردد. مشخص است ذراتی که روی هر الک جمع شده اند دارای اندازه بزرگتر از الک خود و کوچکتر از الک قبلی هستند.

به این ترتیب برای هر نوع از ذرات ماسه یک فاصله اندازه بدست می آید که به آن رده رسوبی (Class) می گویند. رده رسوبی بر حسب میلی متر یا فای می باشد. مثلاً ذراتی که روی الک ۳۵ جمع می شوند دارای رده رسوبی صفر الی ۱ فای می باشند. پس از تعیین وزن اندازه ذرات ماسه بایستی درصد آنها را نیز تعیین کنیم. بهتر است نتایج آزمایش الک را بصورت جدول زیر یادداشت کنیم:

شماره الک (mesh)	رده رسوبی (فای Ø)	وزن رسوبات (گرم)	درصد وزنی یا فراوانی	درصد تجمعی
۵	۲- تا ۳-			
۱۰	۱- تا ۲-			
۱۸	۰ تا ۱-			
۳۵	۰ تا ۱			
۶۰	۱ تا ۲			
۱۲۰	۲ تا ۳			
۲۳۰	۳ تا ۴			
pan	>۴			

درصد وزنی رسوبات را فراوانی (frequency) می گویند. درصد تجمعی در هر رده رسوبی از جمع کردن درصد هر رده با رده رسوبی ماقبل خود بدست می آید. واضح است که درصد تجمعی آخرین رده باید ۱۰۰ باشد ولی بعلت وجود خطا در آزمایشات معمولاً این عدد کمتر از ۱۰۰ و نزدیک به آن می شود. در اینجا نتایج بدست آمده را برای رسم منحنی های دانه بندی (granulumetry) و محاسبه پارامترهای آماری نگه می داریم.

مطالعه ذرات سیلت و رس

در رسوب شناسی به مجموع ذرات سیلت و رس «گل» می گویند. برای اندازه گیری این ذرات نمی توانیم از الک استفاده کنیم چون این ذرات خاصیت چسبندگی دارند و به هم و دیواره روزنه الکها می چسبند و به راحتی الک نمی شوند.

برای تعیین اندازه ذرات سیلت و رس از قانون سقوط ذرات در داخل مایعات استفاده می کنیم که به قانون استوک (Stock) معروف است. در این قانون فقط می توانیم قطر ذرات ریز در حد سیلت و رس را پیدا کنیم. چون ذرات درشت در داخل مایعات با سرعت یکنواخت سقوط نمی کند و معمولاً بخاطر وزن زیاد بصورت شتابدار سقوط می نماید. ولی ذرات ریزتر در داخل مایعات بصورت یکنواخت سقوط می نماید.

قانون سقوط ذرات در مایع (قانون استوک)

قانون استوک (۱۸۵۷) بر اساس تأثیر غلظت در سقوط ذرات در آب بنا نهاده شده است که بدین وسیله اندازه ذرات دانه ریز محاسبه می گردد. زمانی که ذره در آب با سرعت ثابتی رسوب کند این سرعت به نام **سرعت سقوط** گفته می شود. در چنین حالتی نیروی مقاومی که از طرف آب بر ذره وارد شده و از رسوبگذاری آن جلوگیری می کند برابر است با نیروی گرانش که در جهت عکس عمل می کند؛ بنابراین ذره از روی سرعت اولیه خود با سرعت ثابتی شروع به سقوط می کند. در

این آزمایش در لوله های رسوبگذاری برای سقوط ذرات در مایع انجام شده است که یکی از طرق بدست آوردن اندازه ذرات دانه ریز از قبیل سیلت و رس می باشد.

بطور کلی نیروی گرانش یک ذره کروی شکل عبارتست از اختلاف بین چگالی ذره و مایع و شتاب ذره که بستگی به گرانش داشته و بصورت زیر نوشته می شود:

$F_g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_g g =$ وزن ذره در خلاء

$F_b = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_f g =$ وزن مایع هم حجم جسم

$\frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho_g - \rho_f) = F_d = F_g - F_b =$ نیروی گرانش

نیروی وارده بر ذرهٔ کروی از طرف مایع برابر است با:

$F_v = 6\pi r \mu v$

حال اگر این دو نیرو با هم برابر باشند، ذره به سرعت حد خواهد رسید.

$F_d = F_v \qquad 4/3\,\pi r^3 g(\rho_g - \rho_f) = 6\pi r\mu v$

بنابراین سرعت حد برابر است با:

$$V = \frac{4\pi r^3 g(\rho_g - \rho_f)}{3(6\pi r\mu)} = \frac{2}{9}\frac{r^2 g(\rho_g - \rho_f)}{\mu}$$

چون r برابر با شعاع ذره و نصف قطر می باشد، لذا به جای آن می‌توان قطر ذره را قرار داد و فرمول را به صورت زیر نوشت:

$r = \frac{d}{2}$

$$V = \left(\frac{gd^2}{18\mu}\right)(\rho_g - \rho_f)$$

$V =$ سرعت سقوط برحسب سانتی متر برثانیه

$\rho_g =$ چگالی ذرهٔ کروی برحسب گرم بر سانتی مترمکعب

$\rho_f =$ چگالی مایع برحسب گرم بر سانتی مترمکعب

$\mu =$ ویسکوزیته مایع برحسب دین در ثانیه بر سانتی مترمربع (پوز)

$d =$ قطر ذره برحسب سانتی متر

برای آنالیزهای رسوبگذاری در درجهٔ حرارتهای معین، قانون استوک به صورت زیر خلاصه می‌گردد.

$V = Cd^2$

البته قانون استوک دارای معایبی نیز می باشد که عبارتند از:

۱- در قانون استوک ذرات بصورت کروی در نظر گرفته شده است. در صورتی که ذرات رسی صفحه ایی هستند؛ یعنی در قانون استوک قطر ذرات رسی را برابر قطر

کـوارتزی در نظـر گرفتـه اسـت کـه بـه شـکل کـره مـی باشـد و بـه آن تسـاوی قطـری (equivalent diameter) می گویند.

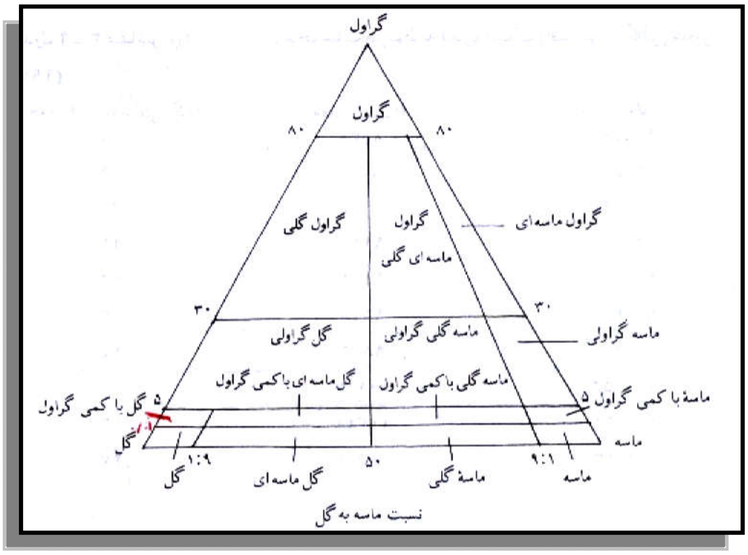
۲- قانون استوک بر اساس سقوط یک ذره در داخل مـایع بنـا نهـاده شـده اسـت. در صورتیکه در طبیعت مجموعه ذرات در داخل مایع با هم سـقوط مـی نماینـد. چگـالی آب بستگی به مقدار ذرات معلق در آن دارد. با افزایش تعداد ذرات چگالی آب نیز بیشـتر مـی شود؛ بنابراین در حالتیکه فقط یک ذره در داخل آب قرار دارد چون چگالی اب کمتر است، ذره با سرعت بیشتری نسبت به حالتیکه چندین ذره در داخل آب قرار دارد و چگـالی آب بیشتر است سقوط می نماید.

۳- در آزمایش استوک برای اینکه ذرات رس بصورت جداگانه از هم سـقوط کننـد از مایع جدا کننده (Dispesant Solution) استفاده می شود تا ذرات رس به هم نچسبند و بصورت گلوله (flocculation) در نیاید. در صورتیکه چنین ماده ای در طبیعت وجـود ندارد و ذرات رس ممکن است به یکدیگر متصل باشند.

نامگذاری رسوبات بر اساس اندازه دانه ها

فولک در سال ۱۹۵۴ بر اساس اندازه دانه های تشکیل دهنده رسوبات و سنگهای رسوبی دو نمودار مثلثی برای نامگذاری آنها ارائه کرده است.

مثلث اول برای رسوبات دانه درشت تر به کار برده می شود که در سه گوشه آن گراول (دانـه هـای درشت تر از ۲ میلیمتر)، ماسه (دانه های بین ۰/۰۶۲۵ تا ۲ میلـی متـر) و گـل (ذرات کـوچکتر از ۰/۰۶۲۵ میلی متر) قرار می گیرد. در این مثلث بر اساس نسبت فراوانی دانه های فوق در رسـوبات یا سنگها، پانزده گروه بافتی اصلی مشخص شده است (شکل زیر).



نام رسوب یا سنگ در این مثلث به توسط دو فاکتور زیر تعیین می شود:

۱- مقدار گراول موجود در رسوب یا سنگ (بیشتر از ۸۰ درصد، بین ۳۰ تا ۸۰ درصد، بین ۵ تا ۳۰ درصد، کمتر از ۵ درصد و مقدار خیلی ناچیز).

۲- نسبت ماسه به گل (در حدود ۹:۱، ۱:۱ و ۱:۹).

فراوانی دانه های درشت (گراول) در رسوب تابعی از حداکثر سرعت جریان در هنگـام رسـوبگذاری، مسافت حمل ونقل و حداکثر اندازه دانه های آواری موجود در هنگام رسوبگذاری است که می توان مقدار آنها را در نمونه های دستی بوضوح مشاهده کرد؛ بنابراین تعیین مقدار دانه هـای درشـت در رسوب، حتی به مقدار خیلی کم، نیز برای تعبیر و تفسیر انرژی محیط از اهمیت خاصـی برخـوردار می باشد.

برای توصیف نام رسوبات در مثلث نامگذاری فولک، پس از تعیـین درصـد گـراول در نمونـه، آن را بصورت زیر نامگذاری می کنند (نکته: واژه های سنگی معادل نام رسوب درون پرانتز نوشـته شـده است). اگر نمونه حاوی بیش از ۸۰ درصد گراول باشد، آن را گراول (کنگلـومرا) مـی نامنـد. نمونـه هایی که در حدود ۳۰ تا ۸۰ درصد گراول داشته باشند، بر اساس نسبت ماسه به گل (۹:۱ یـا ۱:۹) آنها را به گراول ماسه ای (کنگلومرای ماسه ای)، گراول ماسه ای گلی (کنگلومرای ماسه ای گلی) و گراول گلی (کنگلومرای گلی) می نامند. اگر مقدار گراول بین ۵ تا ۳۰ درصد باشد، بر حسب نسبت ماسه به گل، نام نمونه ماسه گراولی (ماسه سنگ کنگلومرایی)، ماسه گلی گراولی (ماسه سنگ گلی کنگلومرایی) و گل گراولی (گلسنگ کنگلومرایی) می باشد. اگر مقدار گراول در نمونه بسیار ناچیز - بین ۰/۰۱ تا ۵ درصد – باشد بر حسب نسبت ماسه به گل، آنرا ماسه کمی گراولـی (ماسـه سـنگ کمی کنگلومرایی)، ماسه گلی کمی گراولی (ماسه سنگ گلـی کمـی کنگلـومرایی)، گـل ماسـه ای کمی گراولی (گلسنگ ماسه ایی کمی کنگلومرایی) و گل کمی گراولی (گلسنگ کمی کنگلومرایی) می نامند.

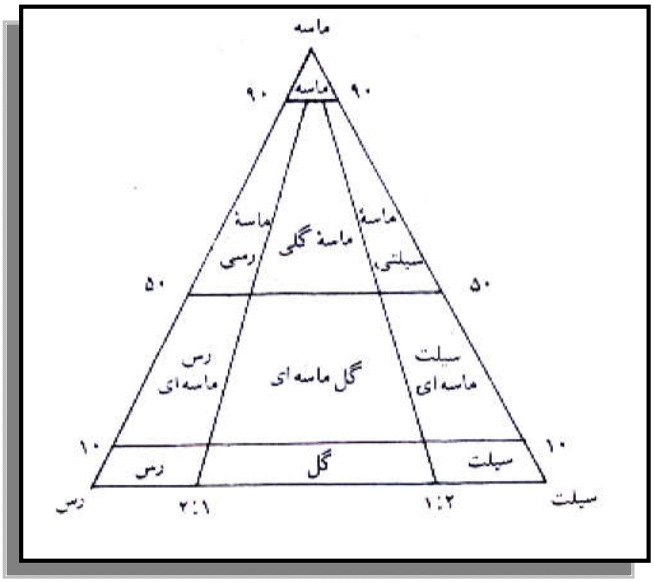
تعیین نسبت ذرات ماسه ای بـه گلـی (فـاکتور دوم) در رسـوباتی کـه فاقـد گـراول هسـتند خـود نشاندهنده میزان انرژی برای خارج نمودن ذرات دانه ریز از محیط در هنگام رسوبگذاری است. برای مثال زیاد بودن میزان ماسه گویای این است که امواج و قدرت جریان زیاد بوده و ذرات دانه ریـز – در حد سیلت و رس – را قبل از رسوبگذاری شسته و از محیط خارج کرده است.

نمونه هایی که فاقد گراول باشند (کمتر از ۰/۰۱ درصد گراول)، بر اساس نسبت ماسـه بـه گـل در چهار طبقه زیر قرار می گیرند.

ماسه (ماسه سنگ) (نسبت بیش از ۹:۱) ماسه گلی (ماسه سنگ گلـی) (نسـبت ۱:۱ تـا ۹:۱)، گـل ماسه ای (گلسنگ ماسه ایی) (نسبت ۱:۹ تا ۱:۱) و گل (گلسنگ) (نسبت کمتر از ۱:۹).

روش ارائه شده در بالا ساده ترین روش برای نامگذاری رسوبات یا سنگها از نظر بافتی در نمونه های دستی می باشد. حال اگر بخواهیم نمونه را دقیقتر نامگذاری کنیم، بر اساس میانه قطر (median diameter) هر گروه از دانه های موجود در سنگ یا رسوب را نامگذاری می کنیم. برای مثال اگـر دو نمونه موجود باشد که هر دو را ماسه سنگ کنگلومرایی بنامیم، پس از بررسی بیشتر اندازه دانـه های ماسه و گراول، این دوسنگ را می توان بطور دقیقتر نامگذاری کرد. اگر در نمونه اول دانه های ماسه بیشتر در اندازه ماسه دانه ریز و گراول آن در اندازه بولدر باشد، آن را ماسه سـنگ دانـه ریـز بولدر دار می نامیم و اگر در نمونه دوم دانه های ماسه در اندازه ماسه خیلی درشت و گـراول آن در اندازه پبل باشد، آن را به نام ماسه سنگ خیلی درشت پبل دار نامگذاری می کنیم؛ بنابراین *تقسیم بندی دقیقتر بر اساس میانه قطر دانه های تشکیل دهنده رسوب یا سنگ است.*

برای نامگذاری رسوبات یا سنگهای دانه ریزتری که فاقد هرگونه گراول باشد از مثلث دوم فولک که در سه گوشه آن ماسه، سیلت و رس نوشته شده است استفاده می کنیم (شکل زیر).



ماسه= ماسه سنگ، ماسه سیلتی= ماسه سنگ سیلتی، ماسه گلی= ماسه سنگ گلی، ماسـه رسـی= ماسه سنگ رس دار، سیلت ماسه ای= سیلتستون ماسه ای، گل ماسه ای- گل سنگ ماسه ای، رس ماسه ای= رس سنگ ماسه ای، سیلت= سیلتستون، رس= رس سنگ،

گل= گل سنگ

- ✓ نکته: به اعداد موجود در کناره مثلث دقت شود

آنالیز اندازه دانه ها

جهت مقایسه رسوبات مختلف با یکدیگر و نیز تعیین فرآیندهای رسوب گذاری و حمل ونقل و تعیین محیط رسوبی آنها بایستی اندازه ذرات را تجزیه و تحلیل نمائیم.

مجموعه ذرات گراول، ماسه و گل (رس + سیلت) در رسوبات را، تجمع (Population) می نامند. هر کدام از ذرات گروال، ماسه، سیلت و رس را یک زیر تجمع (Sub population) می گویند. برای آنالیز ذرات ابتدا بایستی منحنی های دانه بندی را رسم کنیم و سپس پارامترهای آماری رسوب را محاسبه کنیم.

- منحنی های دانه بندی

۱- منحنی هیستوگرام یا میله ای (Hisrogram or Bargraph):

این منحنی **فراوانی نسبی** اندازه ذرات را نشان می دهد. برای رسم این منحنی، اندازه ذرات را که بصورت رده های رسوبی است در محور x ها نشان می دهیم، بطوریکه ذرات درشت در سمت چپ و ذرات ریز در سمت راست قرار گیرند. مقیاس محور x معمولاً بر حسب فای می باشد (البته بر حسب میلی متر هم می تواند باشد). درصد وزنی رسوبات را که فراوانی (frequency) نامیده می شود، در روی محور y نمایش می دهیم. شکل منحنی هیستوگرام از مستطیل هایی تشکیل شده است که یک ضلع آن محور y و ضلع دیگر آن را محور x تشکیل می دهد. بدین ترتیب سطح هر مستطیل (S= X.Y) نشانه ایی از تراکم هر رده خواهد بود. چون ضلع تحتانی (در روی محور x ها) برای رده های مختلف برابر می باشد (در مقیاس لگاریتمی)، اختلاف سطح در این مستطیل ها در نتیجه اختلاف فراوانی ذرات در هر رده است؛ بنابراین هیستوگرام حداکثر و حداقل ذرات را برای رده های مختلف نشان می دهد.

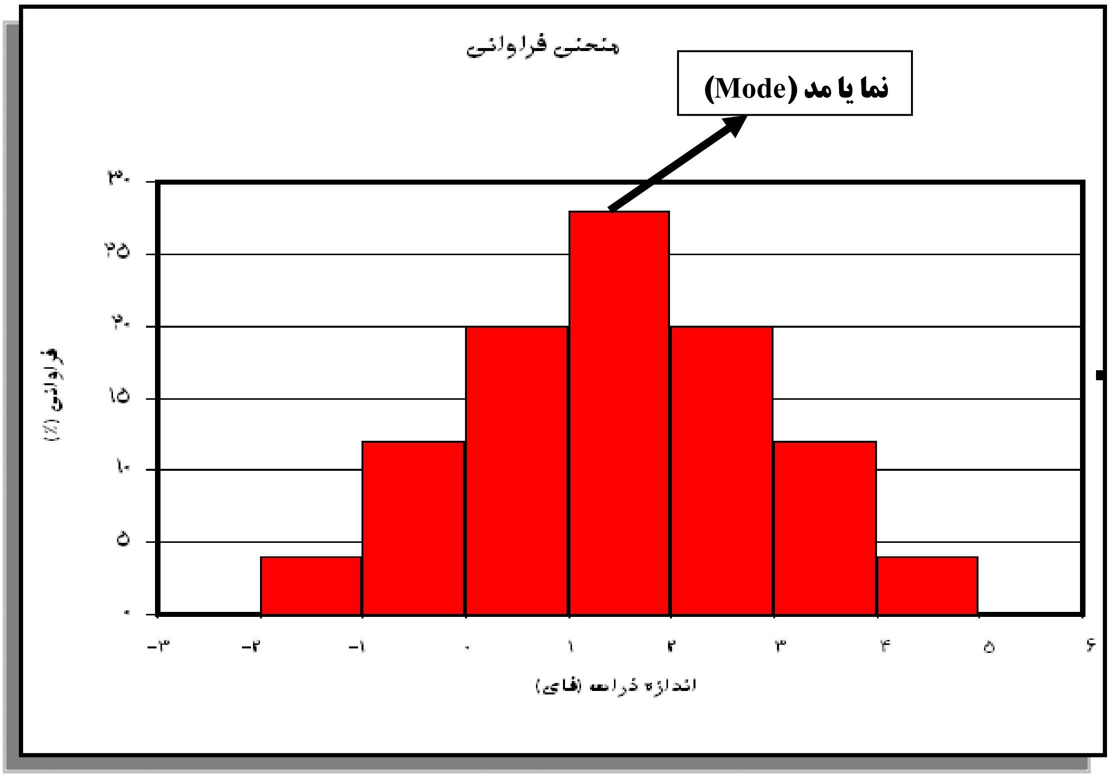
بطور مثال منحنی هیستوگرام رسوبی که نتیجه دانه بندی آن مطابق زیر (جدول شماره ۲) می باشد را در شکل زیر ملاحظه می کنید.

جدول شماره ۲

درصد تجمعی	درصد وزنی یا فراوانی	وزن رسوبات (گرم)	رده رسوبی (فای Ø)	شماره الک (mesh)
۴	۴	۲	۱- تا ۲-	۱۰
۱۶	۱۲	۶	۰ تا ۱-	۱۸
۳۶	۲۰	۱۰	۰ تا ۱	۳۵
۶۴	۲۸	۱۴	۱ تا ۲	۶۰
۸۴	۲۰	۱۰	۲ تا ۳	۱۲۰
۹۶	۱۲	۶	۳ تا ۴	۲۳۰
۱۰۰	۴	۲	>۴	pan
	مجموع = ۱۰۰ درصد	مجموع = ۵۰ گرم		

نکته: برای محاسبه درصد وزنی یا فراوانی بصورت زیر عمل می کنیم:

درصد فراوانی = (وزن رسوب در هر الک ÷ مجموع وزن رسوبات مورد آزمایش) ×۱۰۰

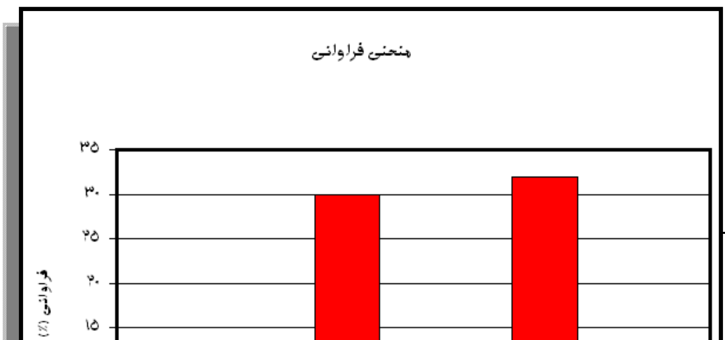


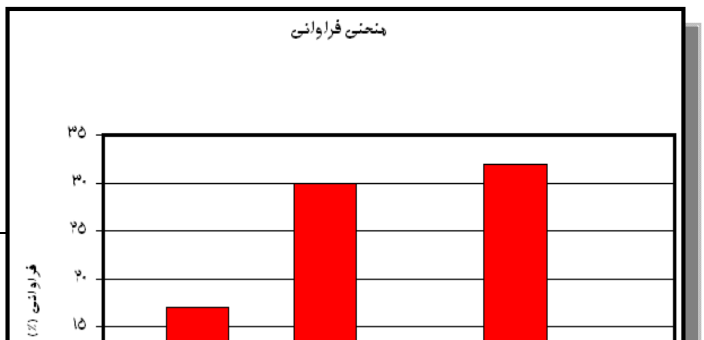
موارد کاربرد منحنی هیستوگرام:

۱- درصد یا فراوانی ذرات مختلف را در رسوب نشان می دهد.

۲- بیشترین و کمترین درصد رسوبات را به همراه اندازه آن نشان می دهد.

۳- بالاترین نقطه تجمع را در منحنی هیستوگرام، نما یا مد (Mode) می نامند (شکل فوق). این نقطه همان بیشینه منحنی است. در رسوب شناسی، نما بیانگر تعداد منشأ رسوبات است. اگر رسوبی دارای یک نما باشد آنرا تک منشائی (Unimodal) می نامند (شکل فوق). رسوبی که دارای دو نما باشد، دو منشائی (Bimodal) نامیده می شود (شکل پائین - سمت چپ) و اگر رسوبی دارای بیش از دو نما باشد را چند منشائی (Polymodal or Multimodal) می نامند (شکل پائین سمت راست).

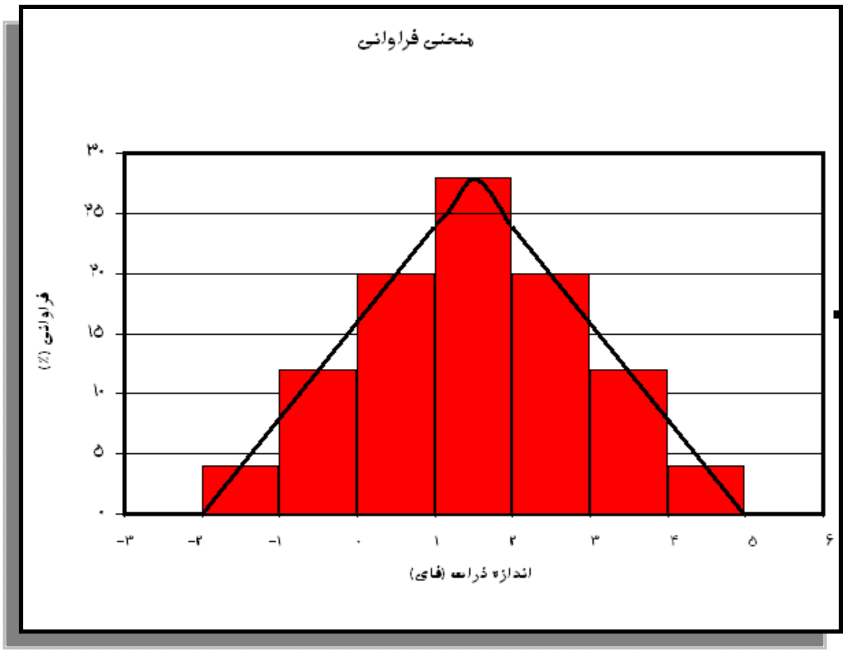




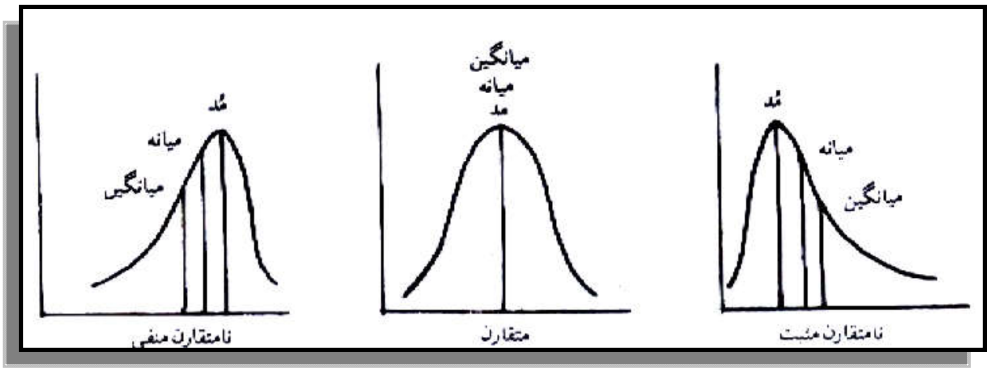
از معایب بزرگ منحنی هیستوگرام این است که شکل آنها به فواصل انتخـابی الـک هـا (رده هـای رسوبی) بستگی دارد و در یک رسوب با تغییـر فاصـله الـک هـا، شـکل هـای متفـاوتی از منحنـی هیستوگرام بدست می آید. کاربرد تصلی منحنی هیستوگرام در **تعیین منشأ** رسوبات است.

۲-منحنی نرمال یا زنگ مانند یا منحنی فراوانی (Normal or Bell Shaped Curve):

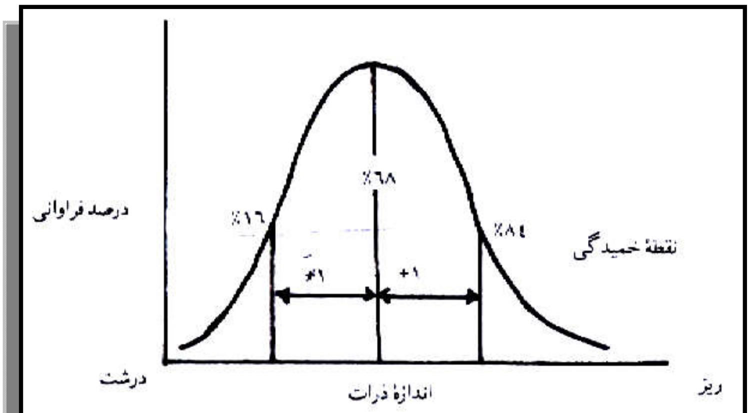
این منحنی را منحنی گوس (Gaues) نیز می نامند. این منحنی از به هم وصل کردن وسط ضـلع های فوقانی مستطیل های منحنی هیستوگرام بدست می آیـد. بطـور مثـال شـکل منحنــی نرمـال رسوب مورد نظر (رسوب جدول شماره ۲) مطابق شکل زیر است.



اگر همانند شکل فوق، توضیع اندازه ذرات رسوبی یکنواخت باشد، شکل منحنی نرمـال آن متقـارن (Symmetrical) درمی آید. در صورتی که توزیع اندازه ذرات غیر یکنواخت باشد شـکل منحنـی آن نامتقارن (Asymmetrical) در می آید و اصطلاحاً کج شدگی (Skewness) پیدا می نماید.

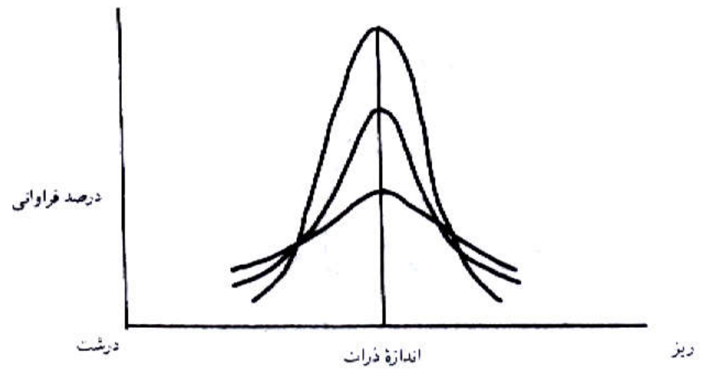


در این منحنی نیز بالاترین نقطه منحنی، نما (Mode) نـام دارد. ایـن نقطـه در ایـن منحنـی نیـز نشاندهنده تعداد منشأ رسوب اسـت. حرکـت از وسـط ایـن منحنـی بـه طـرفین را انحـراف معیـار (Standard deviation) می نامند و با علامت σ نشان می دهند (شکل زیر).



.منحنی توزیع عادی یا نرمال.

انحراف معیار در رسوب شناسی مقدار جورشدگی رسوبات (Sorting) را نشان می دهد. با کـاهش اندازه انحراف معیار مقدار جورشدگی رسوبات افزایش می یابد. چون منحنی نرمال کشیده تـر مـی شود؛ بنابراین کشیدگی منحنی نرمال مقدار جورشدگی رسوبات را نشـان مـی دهـد. اگـر منحنـی نرمال خیلی کشیده باشد آنرا لپتوکورتیک (leptokurtic) می نامند. منحنی نرمال خیلی پهـن را پلتی کورتیک (platy kurtic) می نامند. منحنی نرمالی که کشیدگی آن در حد متوسط باشـد را مزوکورتیک (mesokurtic) می گویند (شکل زیر).



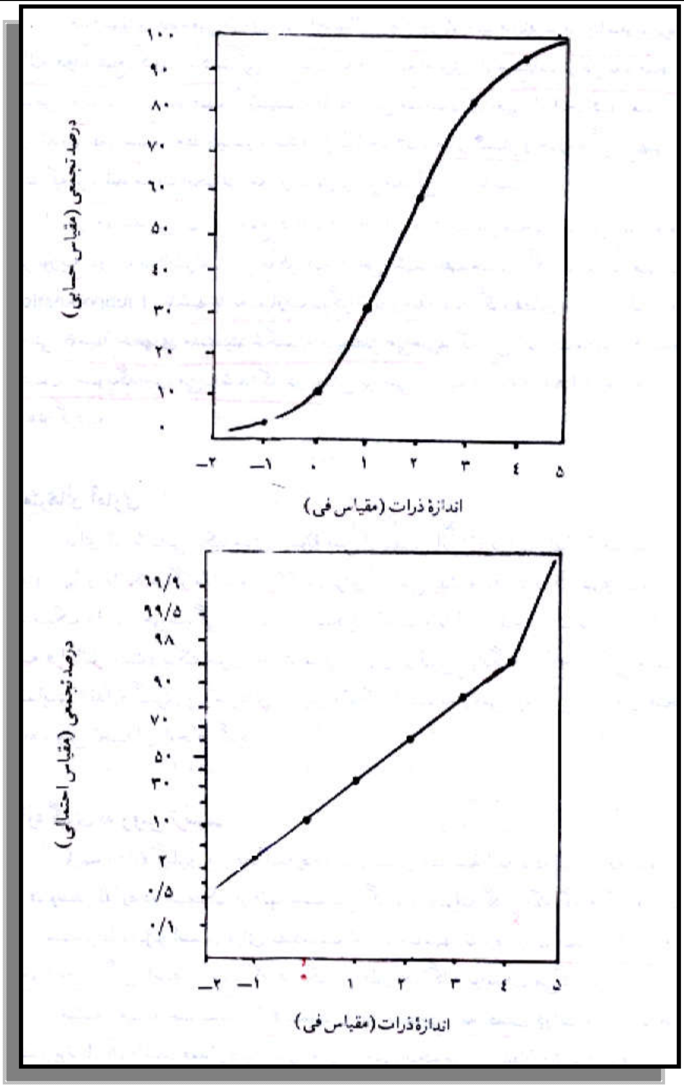
اشکال مختلفی از منحنیهای توزیع نرمال با جورشدگیهای متفاوت.

اگر منحنی نرمال، متقارن باشد نقطه اوج منحنی درست در وسط منحنی یعنی نقطه ۵۰٪ قرار می گیرد؛ یعنی ۵۰٪ مساحت زیر منحنی در سمت چپ و ۵۰٪ دیگر در سمت راست ایـن نقطـه قـرار می گیرد. در منحنی نرمال غیر متقارن نقطه اوج منحنی در نقطه دیگری به غیر از ۵۰ درصد مـی افتد و مساحت های زیر منحنی در طرفین نقطه وسط برابر نمی باشد.

کاربرد اصلی منحنی نرمال در تعیین جورشدگی رسوبات است.

۳- منحنی تجمعی (Cumulative Curve):

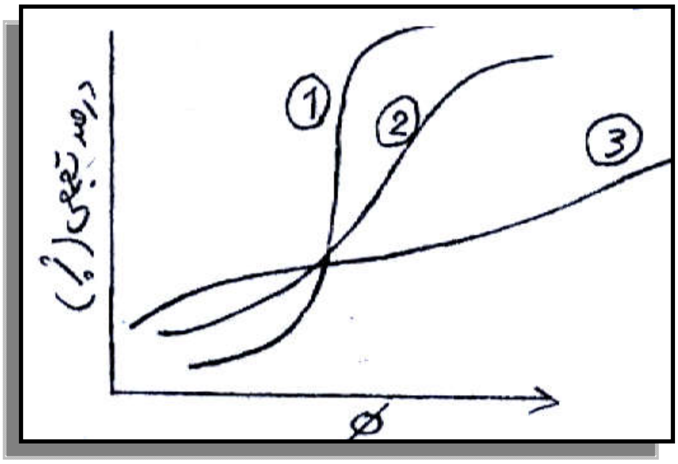
این منحنی از روی درصد تجمعی رسوبات رسم می شود. درصد تجمعی در هر رده رسوبی از جمع کردن درصد وزنی هر رده با رده ماقبل خود بدست می آید که بصورت مثال در جدول نمونه قبلـی (جدول شماره ۲) آورده شده است. برای رسم منحنی تجمعی می توان از دو مقیاس برای محـور y که برابر درصد تجمعی است، استفاده کرد. اگر از مقیاس حسابی استفاده کنیم، منحنی به شکل S خواهد بود. منحنی تجمعی S شکل را اجیو (Ogive) می نامند. اگر از مقیاس احتمالی برای محور y استفاده کنیم، شکل منحنی بصورت خط مستقیم در مـی آیـد. در مقیـاس احتمـالی اگـر ذرات بصورت یکنواخت پخش شده باشند، شکل منحنی بصورت یک خط مستقیم است. اگر توزیع ذرات غیر یکنواخت باشد، شکل منحنی بصورت خطوط شکسته خواهد بود.



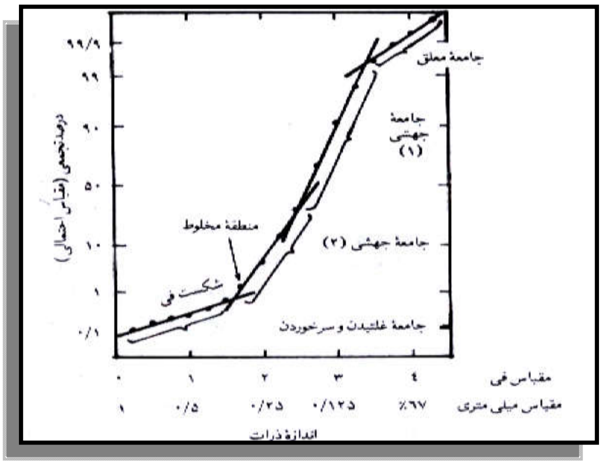
برای رسم منحنی تجمعی از کاغذهای نیمه لگاریتمی نیز می توان استفاده کرد. در این کاغذها مقیاس محور x (اندازه ذرات بر حسب میلی متر) لگاریتمی و مقیاس محور y حسابی است. علت استفاده از این کاغذها بخاطر رابطه بین فای و میلی متر است که رابطه آنها بصورت لگاریتمی است.

کاغذهای لازم برای رسم منحنی ها (مقیاس احتمالی و لگاریتمی) بصورت آماده موجود است.

مزیت استفاده از منحنی تجمعی این است که شکل منحنی بستگی به فاصله الک ها ندارد و با تغییر فاصله الکها شکل منحنی تغییر نمی کند. برای محاسبه پارامترهای آماری به روش ترسیمی از این منحنی استفاده می کنیم. اندازه شیب منحنی تجمعی در ارتباط با جورشدگی رسوب است. اگر شیب منحنی تجمعی (S شکل یا خط مستقیم) زیاد باشد، جورشدگی رسوب نیز بهتر خواهد بود؛ به عبارت دیگر با افزایش شیب منحنی تجمعی، مقدار انحراف معیار کاهش خواهد یافت. بطور مثال در شکل زیر از منحنی اول تا سوم به ترتیب جورشدگی رسوبات کاسته می شود. رسوبات ساحلی و بادی بخاطر جورشدگی خیلی خوب دارای پرشیب ترین منحنی هستند. رسوبات یخچالی بخاطر جورشدگی خیلی بد، دارای کم شیب ترین منحنی تجمعی می باشند.



محل های خمیدگی در منحنی تجمعی S شکل و نقاط شکستگی در منحنی تجمعی خط مستقیم بیانگر مکانیزم های مختلف حمل ونقل و رسوبگذاری (تعلیق، جهیدن، غلتیدن) مـی باشـد (شـکل زیر).



در رسم منحنی تجمعی با مقیاس فای به این صورت است که ذرات درشت (فای کمتـر) در سـمت راست و ذرات ریز (فای بیشتر) در سمت چپ محور x قرار می گیرنـد. ولـی اگـر از مقیـاس میلـی متری استفاده کنیم، بخاطر اینکه اعداد از کم به زیاد در روی محور x قرار می گیرند، ذرات درشت در سمت چپ و ذرات ریز در سمت راست قرار می گیرد (شکل فوق).

پارامترهای آماری

برای محاسبه پارامترهای آماری رسوبات از دو روش می توانیم استفاده کنیم. یک روش اسـتفاده از منحنی های ترسیمی است و به روش ترسیمی (Graphical Method) مرسوم است، روش دیگر بدون استفاده از منحنی ها صورت می گیرد و روش لحظـه ای (Method of moment) نامیـده می شود.

روش ترسیمی (Graphical Method)

در این روش بایستی ابتدا منحنی های دانه بندی رسوب را ترسیم کنیم و سپس از روی منحنی ها، بخصوص منحنی تجمعی، پارامترهای آماری را محاسبه می کنیم. پارامترهـای آمـاری کـه در ایـن روش محاسبه می شوند عبارتند از:

۱- متوسط اندازه ذرات (average grain size):

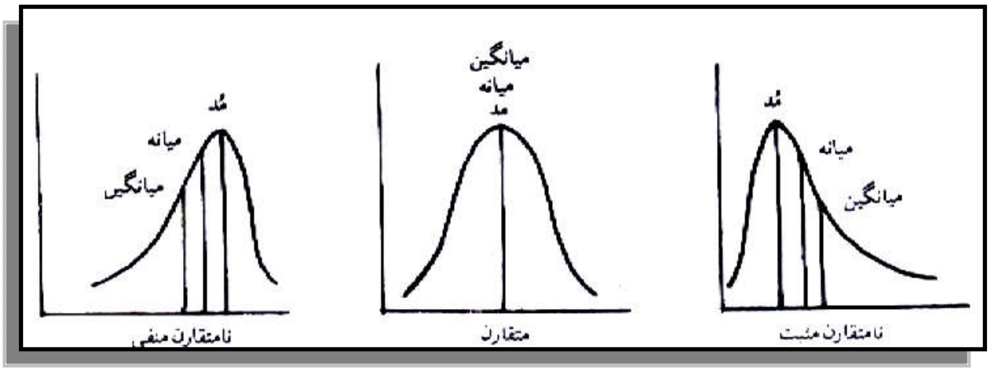
برای پیدا کردن اندازه متوسط ذرات یک رسوب از سه پارامتر می توانیم استفاده بکنیم. از بین این سه پارامتر، میانگین از دقت بیشتری برخوردار است. این سه پارامتر عبارتند از:

- میانه (Median): عبارتست از نقطه وسط منحنی کـه در منحنـی تجمعـی ایـن نقطه در مقابل فای ۵۰ درصد ($Ø_{50}$) قرار می گیرد؛ یعنی نصـف ذرات درشـت تـر از ایـن نقطه و نصف دیگر ریزتر از این نقطه هستند. اگر بخواهیم میانه را بر حسب میلی متر بیان کنیم از علامت Md_{mm} استفاده می کنیم. بیان میانه بر حسب فای با علامت $Md_{Ø}$ نشان داده می شود. این پارامتر برای بیان اندازه متوسط ذرات از دقت کافی برخوردار نمی باشد، چون فقط از یک نقطه منحنی استفاده می کند.
- نما (Mode): بالاترین نقطه تجمع را در منحنی هیستوگرام یا نرمال، به نام نما یا مد معروف است. نما در منحنی تجمعی در برابر پرشیب ترین بخش منحنی قرار دارد. نمـا را با علامت اختصاری M_0 نشان می دهند. در رسـوبات دو منشـایی و چنـد منشـایی کـه دارای دو یا چند نما هستند، مفهوم نما بعنوان اندازه متوسط ذرات از بین مـی رود. از نمـا بیشتر برای بیان تعداد منشأ رسوب استفاده می شود.
- میانگین (Mean): از سه نقطه منحنـی بـرای پیـدا کـردن انـدازه متوسـط ذرات استفاده می کند و فرمول آن بصورت زیر است:

$$M_z = \frac{\phi 16 + \phi 50 + \phi 84}{3}$$

یعنی کافی است از روی منحنی تجمعی اندازه ذراتی که ۱۶، ۵۰ و ۸۴ درصد رسوب را تشکیل می دهند بر حسب فای پیدا کنیم و در فرمول قرار دهیم نا میانگین انـدازه ذرات بدسـت آیـد. این پارامتر دقیقتر از دو پارامتر قبلی است و برای تعیین متوسـط انـدازه ذرات از ایـن پـارامتر استفاده می شود.

در منحنی نرمال متقارن سه پارامتر میانه، نما، میانگین درست در وسط منحنی و بر روی یـک نقطه واقعند، ولی در منحنی نرمال نامتقارن وضعیت سه پارامتر فوق بصورت زیر خواهد بود.



۲- جورشدگی رسوب (Sorting):

جورشدگی میزان یکنواختی اندازه ذرات رسوب را نشان می دهد؛ یعنی جورشـدگی نشـان دهنـده این است که چقدر اندازه ذرات یک رسوب به یکدیگر نزدیک اسـت (شـکل زیـر دو نمونـه رسـوب جورشده و جورنشده را نشان می دهد).



برای تعیین مقدار جورشدگی رسوب از فرمولهای زیر می توان استفاده کرد:

- ضریب جورشدگی ترسک (Trask Sorting Cofficient):

فرمول آن بصورت $\sqrt{\frac{P25}{p75}}$ می باشد. P_{25} برابر اندازه ذراتی بر حسب میلی متر است که ۲۵ درصد رسوب را تشکیل می دهد. P_{75} برابر اندازه ذرات بر حسب میلی متر است که ۷۵ درصـد رسـوب را تشکیل می دهد. چون در این روش فقط از دو نقطه وسط منحنی استفاده می شود، از دقت کمـی برخوردار است.

- کودفی (Phiquartile deviation) یا اندیس کلاسمان:

این اندیس را با علامت QDØ نشان می دهند و فرمول آن عبارتست از:

$$QD\phi = \frac{\phi_{75} - \phi_{25}}{2}$$

این فرمول شبیه فرمول ترسک است ولی از مقیاس فای استفاده می شود. مقدار کودفی هر چقدر کوچکتر باشد، جورشدگی رسوب بهتر است. در این فرمول نیز فقط از قسمت وسط منحنی استفاده شده است و دنباله های منحنی بحساب آورده نشده اند.

- انحراف معیار ترسیمی (Graphic Standard deviation):

در این روش که فرمول آن بصورت زیر است:

$$\delta = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2}$$

در حدود ۶۸ درصد مساحت زیر منحنی را بحساب آورده است (از نقاط ۱۶ درصد و ۸۴ درصد یعنی نقاط انتهای منحنی استفاده شده است).

- انحراف معیار ترسیمی جامع (Inclusive graphic standard deviation):

این فرمول را فولک ارائه کرد و ۹۰ درصد مساحت زیر منحنی را در بر می گیرد و کاملتر از بقیه فرمولها است. مقدار جورشدگی با δI نشان داده می شود:

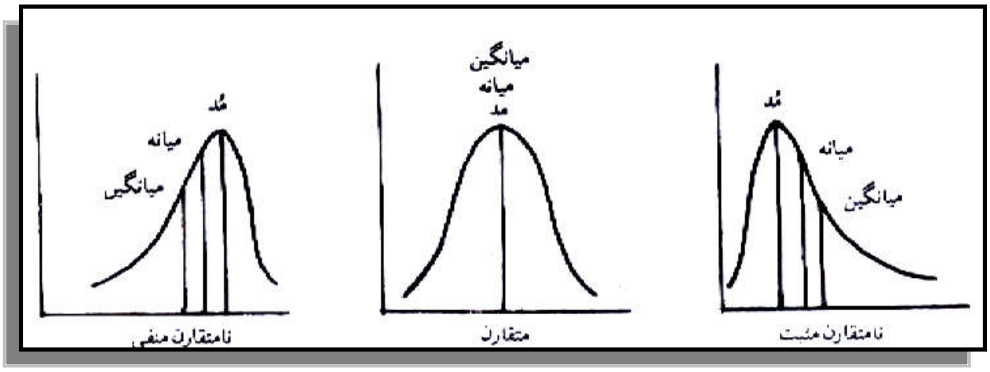
$$\sigma_I = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_{5}}{6.6}$$

فولک برای تعیین جورشدگی رسوبات بازه های زیر را تعریف نموده است و مقدار δI بدست آمده را می توان در داخل یکی از این بازه ها قرار داد و نوع جورشدگی رسوب را بدست آورد. لازم به توضیح است که مقدار جورشدگی بر حسب فای می باشد:

(انحراف معیار) کمتر از ۰/۳۵ (فی) جورشدگی بسیار خوب
از ۰/۳۵ تا ۰/۵ جورشدگی خوب
از ۰/۵ تا ۰/۷۱ جورشدگی خوب متوسط
از ۰/۷۱ تا ۱ جورشدگی متوسط
از ۱ تا ۲ جورشدگی بد
از ۲ تا ٤ جورشدگی بسیار بد
بیشتر از ٤ جورشدگی بی نهایت بد

۳- کج شدگی یا اندیس تقارن (Skewness):

این پارامتر میزان تقارن منحنی را نشان می دهد. در منحنی های متقارن میزان کج شدگی صفر یا نزدیک به صفر می باشد. در منحنی های نامتقارن کج شدگی در یک طرف منحنی دیده می شود. طرفی از منحنی که دارای کج شدگی و کشیدگی می باشد بنام دنباله منحنی (tail) نامیده می شود.



اگر دنباله منحنی به سمت ذرات ریز یعنی به سمت راست باشد، رسوب دارای کج شدگی مثبت است. در کج شدگی مثبت مساحت بیشتر زیر منحنی در سمت ذرات ریز قرار دارد یعنیفراوانی ذرات دانه ریز بیشتر است ولی جورشدگی ذرات دانه درشت بهتر است.

اگر دنباله منحنی به سمت ذرات درشت یعنی به سمت چپ باشد، رسوب کج شدگی منفی دارد. در کج شدگی منفی مساحت بیشتر زیر منحنی در سمت ذرات دانه درشت قرار دارد یعنی فراوانی با ذرات دانه درشت است ولی جورشدگی ذرات دانه ریز بهتر است.

برای محاسبه مقدار کج شدگی فرمولهای متعددی وجود دارد:

- کج شدگی (Phiquartile skewness):

$$SKq = \frac{\phi 25 + \phi 75 - 2md\phi}{2} = \frac{\phi_1 + \phi_3 - 2md\phi}{2}$$

یا

$$SKq = \frac{\phi_{25} + \phi_{75} - 2\phi_{50}}{2}$$

در این فرمول برخی اوقات بجای $md_{\O}$، $\O_{50}$ (معادل آن را) قرار می دهند که همان میانه می باشد. در این فرمول فقط مقدار کج شدگی وسط منحنی بحساب آمده است و دنباله های منحنی در نظر گرفته نشده است. به این دلیل از دقت کافی بر خوردار نمی باشد.

- کج شدگی ترسیمی (Graphic skewness):

$$SKG = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{\phi_{84} - \phi_{16}}$$

در این فرمول مقدار کج شدگی ۶۸ درصد منحنی محاسبه می شود.

- کج شدگی ترسیمی جامع (Inclusive graphic skewness):

$$SKI = \frac{\phi 84 + \phi 16 - 2(\phi 50)}{2(\phi 84 - \phi 16)} + \frac{\phi 95 + \phi 5 - 2(\phi 50)}{2(\phi 95 - \phi 5)}$$

این فرمول را فولک ارائه کرده است و دقیق تر از فرمولهای قبلی است. این فرمول، کج شـدگی ۹۰ درصد منحنی را در بر می گیرد. مقدار کج شدگی یک عدد کامل و بدون فای یا میلـی متـر اسـت. برای تعیین نوع کج شدگی رسوب، مقداری که از فرمول فولک بدست می آید و در بـازه هـای زیـر قرار می دهند:

از +۱ تا +۰/۳	(Strongly fine Skewed)
از +۰/۳ تا +۰/۱	(fine Skewed)
از +۰/۱ تا –۰/۱	(near symmetricl)
از –۰/۱ تا –۰/۳	(coarse Skewed)
از –۰/۳ تا –۱	(Strongly coarse Skewed)

۴- کشیدگی (Kurtosis):

میزان نوک تیزی منحنی را نشان می دهد. مقدار آن از فرمول زیر بدست می آید:

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

هر چقدر مقدار کشیدگی بیشتر باشد نشان می دهد که جورشدگی بهتر است. این نوع منحنی هـا را لپتوکورتیـک (Leptokurtic) مـی گوینـد. هـر چقـدر مقـدار کشـیدگی کمتـر باشـد، بیـانگر جورشدگی ضعیف رسوب است. این منحنی ها را پلتی کورتیک (Platykurtic) می گویند. حالت

حدوسط را مزوکورتیک (Mesokurtic) می گویند و جور شدگی متوسط است. برای تعیین نوع کشیدگی، مقدار بدست آمده از فرمول فوق را در بازه های زیر قرار می دهند:

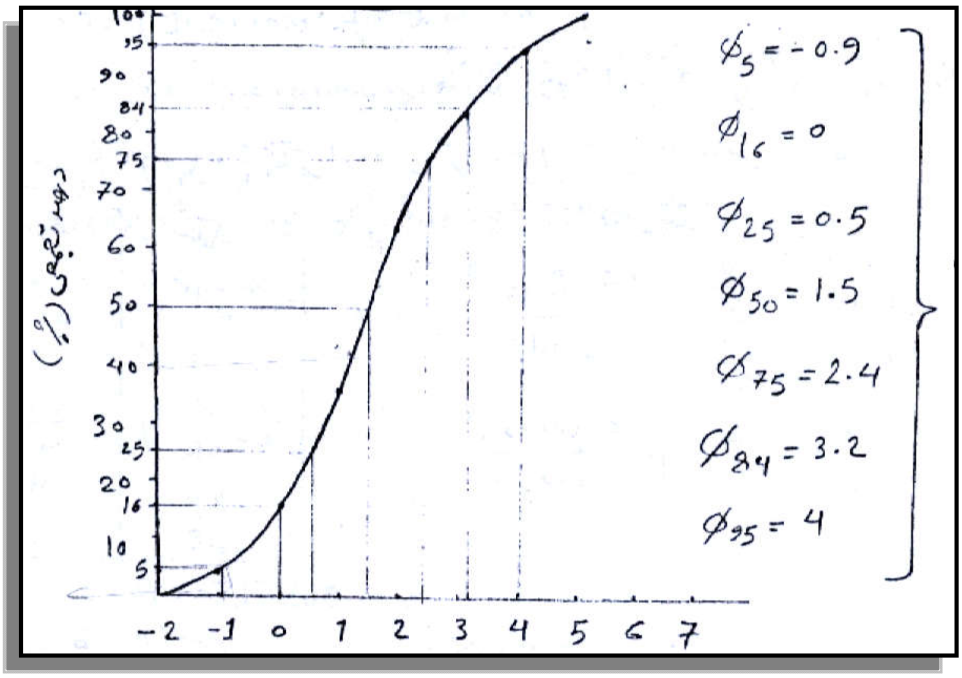
کمتر از ۰/۶۷ بسیار پهن	(very platykurtic)
از ۰/۶۷ تا ۰/۹ پهن	(platykurtic)
از ۰/۹ تا ۱/۱۱ متوسط	(mesokurtic)
از ۱/۱۱ تا ۱/۵ کشیده	(leptokurtic)
از ۱/۵ تا ۳ بسیار کشیده	(very leptokurtic)
بیشر از ۳ بی نهایت کشیده	(extremely leptokurtic)

۵- اندیس هازن (Hazen):

از فرمول $\frac{d_{60}}{d_{10}}$ بدست می آید. d_{60} یعنی اندازه ذرات رسوبی بر حسب میلی متر که ۶۰ درصد رسوب را تشکیل می دهد. D_{10} یعنی اندازه ذرات رسوبی بر حسب میلی متر که ۱۰ درصد رسوب را تشکیل می دهد.

از بین پارامترهای آماری، پارامترهای جورشدگی و کج شدگی اهمیت بیشتری نسبت به بقیه دارند، چون تعیین محیط رسوبی بر اساس این دو پارامتر انجام می شود.

برای اینکه با چگونگی روش ترسیمی در محاسبه پارامترهای آماری بیشتر آشنا شویم، بطور مثال پارامترهای آماری را برای رسوبی که در جدول شماره ۲ ذکر شد، بصورت زیر بدست می آوریم:



$$Md_{\phi} = \phi_{50} = 1.50$$

$$Mz = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} = \frac{0 + 1.5 + 3.2}{3} = 1.56\phi$$ (ماسه متوسط)

$$\sigma I = \frac{\phi 84 - \phi 16}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi 5}{6.6} = \frac{3.2 - 0}{4} + \frac{4 - (-0.9)}{6.6} = 1.54\phi$$ (جورشدگی بد یا ضعیف)

$$SKI = \frac{\phi 84 + \phi 16 - 2(\phi 50)}{2(\phi 84 - \phi 16)} + \frac{\phi 95 + \phi 5 - 2(\phi 50)}{2(\phi 95 - \phi 5)} = 0.04$$ (تقریباً متقارن)

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})} = 1.06$$ (بطور متوسط کشیده)

روش لحظه ای (Method of Moment):

در این روش نیازی به رسم منحنی های دانه بندی وجود ندارد و پارامترها از روی یک سری فرمولها محاسبه می گردد. این روش **دقیق تر** از روش ترسیمی است؛ زیرا در روش ترسیمی از برخی نقاط منحنی استفاده می شود. فرمولهای محاسبه پارامترهای آماری به روش لحظه ای عبارتند از:

$$\text{میانگین} = \bar{X}\phi = \frac{\Sigma fm}{n}$$

$$\text{انحراف معیار} = \sigma\phi = \sqrt{\frac{\Sigma f(m - \bar{X}\phi)^2}{100}}$$

$$\text{کج شدگی} = Sk\phi = \frac{\Sigma f(m - \bar{X}\phi)^3}{100\sigma\phi^3}$$

$$\text{کشیدگی} = K\phi = \frac{\Sigma f(m - \bar{X}\phi)^4}{100\sigma\phi^4}$$

در این فرمولها:

m: نقطه وسط رده رسوبی

f: فراوانی هر رده رسوبی

n: مجموع فراوانی رده های رسوبی که معمولاً برابر ۱۰۰ می باشد.

برای روشن شدن مطلب، این روش را در مورد رسوبی که قبلاً پارامترهای آماری آن از طریق روش ترسیمی بدست آورده شد، بکار می بریم و نتایج دو روش را با هم مقایسه می کنیم:

- برای محاسبه میانگین بصورت زیر عمل می کنیم:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma f.m}{n} = \frac{150}{100} = 1.5\phi$$

ماسه متوسط

رده رسوبی Ø	نقطه وسط هر رده m	فراوانی هر رده f	f.m
-۲ - -۱	-۱/۵	۴	-۶
-۱ — ۰	-۰/۵	۱۴	-۶
۰ — ۱	۰/۵	۲۰	۱۰
۱ — ۲	۱/۵	۲۸	۴۲
۲ — ۳	۲/۵	۲۰	۵۰
۳ — ۴	۳/۵	۱۲	۴۲
۴ — ۵	۴/۵	۴	۱۸
			Σf.m = 150

برای محاسبه جور شدگی مطابق زیر عمل می کنیم:

$$\delta = \sqrt{\frac{\Sigma f(m-\bar{x})^2}{100}} = \sqrt{\frac{208}{100}} = 1.44\phi$$

جور شدگی بد یا ضعیف

$m-\bar{x}$	$(m-\bar{x})^2$	$f(m-\bar{x})^2$
-۳	۹	۳۶
-۲	۴	۴۸
-۱	۱	۲۰
۰	۰	۰
۱	۱	۲۰
۲	۴	۴۸
۳	۹	۳۶
		$= 208\, \Sigma f(m-\bar{x})^2$

برای محاسبه کج شدگی بصورت زیر عمل می کنیم:

$$SK = \frac{\Sigma f(m-\bar{x})^3}{100\delta^3} = \frac{0}{100(1.44)^3} = 0$$

تقریبا متقارن

برای محاسبه کج شدگی بصورت زیر عمل می کنیم:

$f(m-\bar{x})^4$	$(m-\bar{x})^4$
۳۲۴	۸۱
۱۹۲	۱۶
۲۰	۱
۰	۰
۲۰	۱
۱۹۲	۱۶
۳۲۴	۸۱
$= 1072\ \Sigma f(m-\bar{x})^4$	

$$K = \frac{\Sigma f(m-\bar{x})^4}{100\delta^4} = \frac{1072}{100(1.44)^4} = 2.49$$

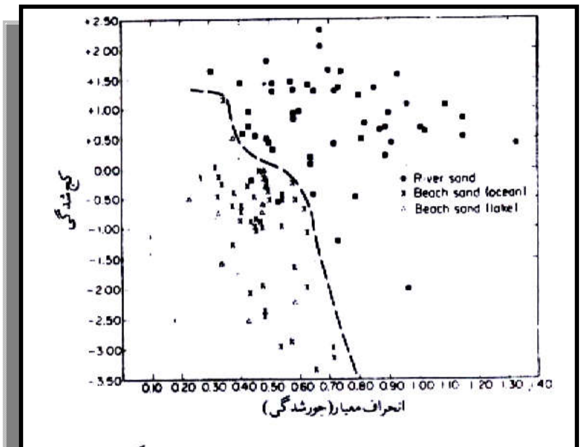
خیلی کشیده

تعبیر و تفسیر نتایج دانه بندی:

همانطوری که قبلاً نیز ذکر شد، آنالیز اندازه ذرات جهت تفسیر طرز حمل ونقل رسوبگذاری ذرات و نیز پیدا کردن محیط رسوبی رسوبات بکار می رود.

توزیـع ذرات در رسـوبات عـلاوه بـر فاصـله حمـل ونقـل بـه فرآینـد جورشـدگی هیـدرولیکی (Hydrolical Sorting) نیز بسـتگی دارد؛ یعنـی طـرز حمـل ونقـل ذرات در داخـل آب باعـث جدایش آنها از همدیگر می گردد. ذرات گراولی به روش غلتیدن و کشـیده شـدن و یـا سـرخوردن حرکت می کنند. ذرات ماسه ایـی بـه روش جهیـدن و ذرات سـیلت و رس بصـورت معلـق در آب حرکت می کنند. این جدایش در منحنی تجمعی بصورت نقاط شکستگی ظاهر می شـود؛ بنـابراین نقاط شکستگی یا نقاط عطف منحنی بیانگر مکانیزمهای مختلف حمل ونقل و رسوبگذاری است.

بـرای یـافتن ارتبـاط بـین پارامترهـای آمـاری و نـوع محـیط رسـوبی شخصـی بنـام فریـدمن (Freedman) رسوبات محیط های مختلف را از نقاط مختلف دنیا دانه بندی نمـود و بـه یکسـری نتایج مهم دست یافت (شکل زیر).



اختلاف بین ماسه های رودخانه ای و ساحلی براساس کج شدگی و انحراف معیار

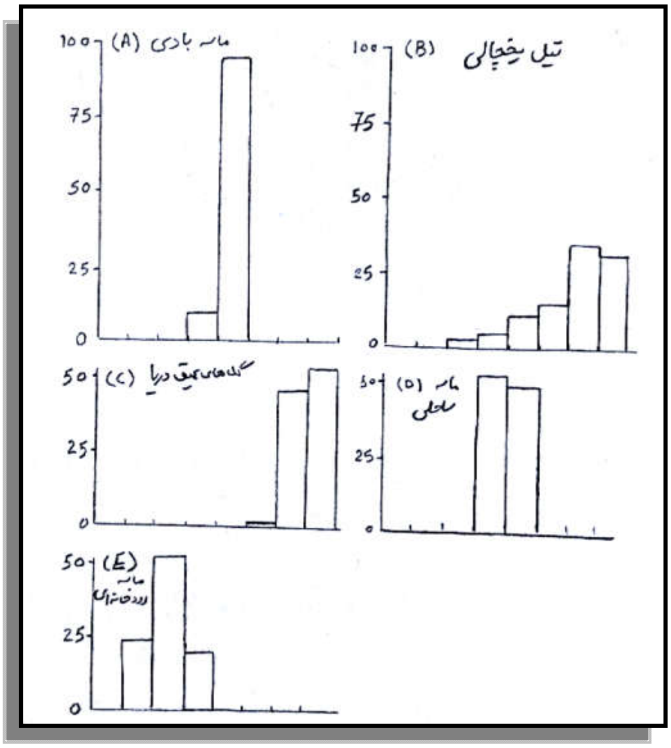
ایشان پی برد اکثر رسوبات رودخانه ای دارای جورشدگی بد یا ضعیف و کج شدگی مثبت هستند؛ زیرا رودخانه قادر است انواع ذرات رسوبی از ریز تا درشت را با خود حمل نماید و این امر باعث جورشدگی ضعیف رسوبات می شود. کج شدگی مثبت در رسوبات رودخانه ای که مقدار زیادی ذرات دانه ریز در لابه لای ذرات درشت رسوب کرده است، دیده می شود. اگر رودخانه ای دارای مقدار زیادی ذرات دانه درشت باشد چه بسا دارای کج شدگی منفی گردد.

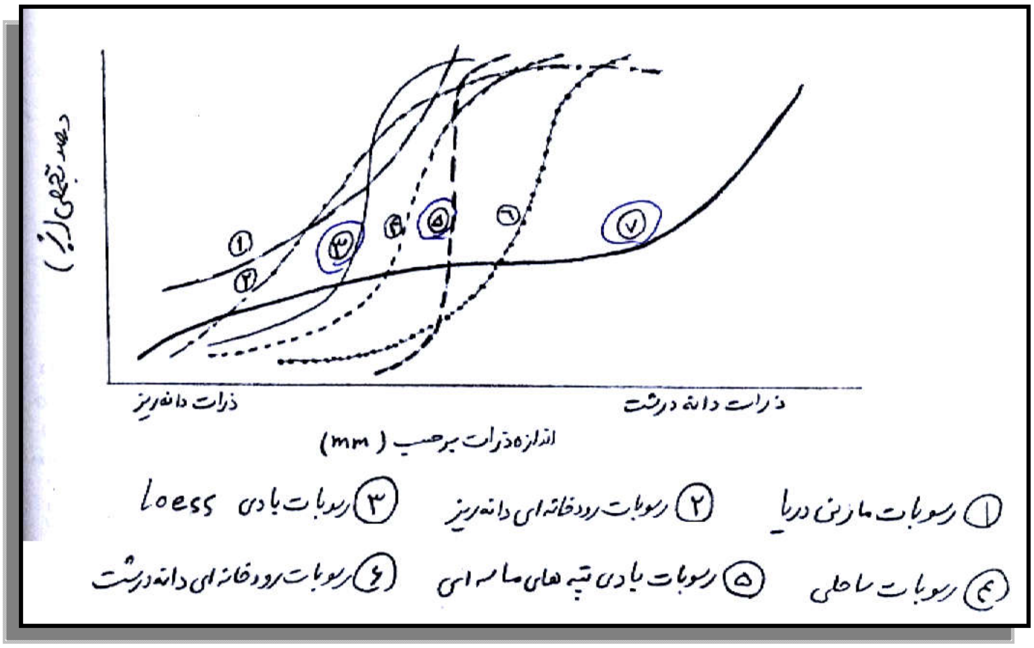
رسوبات ساحلی غالباً دارای جورشدگی خوب و کج شدگی منفی هستند. کج شدگی منفی بخاطر شستشوی ذرات ریز توسط امواج آب و افزایش ذرات درشت تر می باشد. جورشدگی خوب نیز بخاطر وجود انرژی پیوسته در محیط می باشد.

رسوبات بادی نیز دارای جورشدگی خوب می باشند؛ زیرا باد قادر به حمل اندازه مشخصی از ذرات می باشد (مثل ذرات دانه ریز ماسه و گل). باد این ذرات را حمل کرده و با کاهش انرژی، ماسه ها را بصورت تپه های ماسه ای و سیلت و رس را بصورت رسوبات لس (Loess) بر جای می گذارد. کج شدگی رسوبات بادی بستگی به فاصله حمل ونقل دارد. رسوبات بادی نزدیک به منشأ دانه درشت هستند. ولی رسوبات دور از منشأ دانه ریز هستند.

اگر رسوبات بادی دارای کج شدگی منفی باشند ممکن است با رسوبات ساحلی اشتباه شوند. در این صورت از سایر ویژگیهای ذرات رسوبی استفاده می کنیم. بطور مثال رسوبات بادی دارای سطح مات هستند. ولی ماسه های ساحلی سطح براق و صیقلی دارند. لازم به ذکر است، تفسیر محیط رسوبی نبایستی فقط از روی نتایج دانه بندی صورت گیرد؛ زیرا از سایر مشخصات رسوب شناسی بخصوص ساختهای رسوبی نیز بایستی بهره جست. تمامی این شواهد با هم تعبیر و تفسیر می شوند و به یک نتیجه کلی می رسند.

هر محیط رسوبی دارای شکل بخصوصی از منحنی هیستوگرام و تجمعی می باشد؛ یعنی از روی منحنی های هیستوگرام و تجمعی تا حدودی می توان به نوع محیط رسوبی پی برد. برای مثال آقای سلی رسوبات محیطهای مختلف را از کشور انگلستان جمع آوری نموده است. نتایج دانه بندی این رسوبات (منحنی های هیستوگرام و تجمعی) مطابق شکل زیر می باشد.


(A) ماسه بادی
(B) تیل یخچالی
(C) گل‌های عمیق دریا
(D) ماسه ساحلی
(E) ماسه رودخانه‌ای


درصد تجمعی (٪)
ذرات دانه ریز
ذرات دانه درشت
اندازه ذرات برحسب (mm)
① رسوبات مارنی دریا
② رسوبات رودخانه‌ای دانه‌ریز
③ رسوبات بادی loess
④ رسوبات ساحلی
⑤ رسوبات بادی تپه‌های ماسه‌ای
⑥ رسوبات رودخانه‌ای دانه‌درشت

از روی شکل و شیب منحنی تجمعی نیز می توان تـا حـدودی در مـورد محـیط رسـوبی رسـوبات قضاوت کرد (شکل فوق).

پرشیب ترین منحنی تجمعی در رسوبات بادی (تپه های ماسه ای یا لسی) دیده می شود و به شکل S قائم می باشد. رسوبات ساحلی نیز دارای منحنی تجمعی پرشیب هستند ولی شیب آنها مقـداری از رسوبات ماسه بادی کمتر است. منحنی تجمعی رسوبات رودخانه ایـی، شـیب کمتـری دارد. کـم شیب ترین منحنی تجمعی متعلق به رسوبات یخچالی است.

شکل ذرات (Grain Shape)

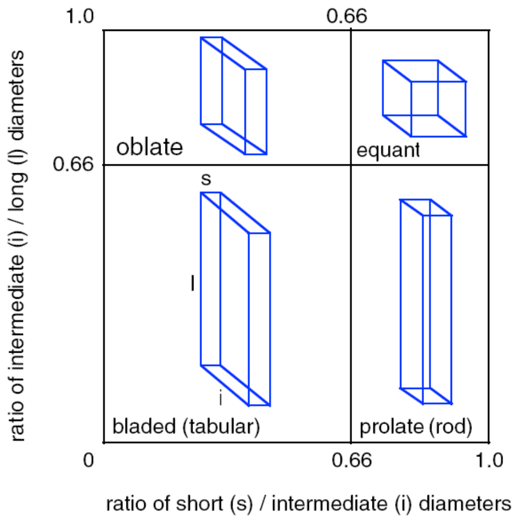
بعد از اندازه ذرات، شکل ذرات دومین جزء بافت رسوبی را تشکیل می دهد. توصیف هندسی ذرات را شکل ذرات می گویند. شکل ذرات شامل فرم، کرویت، گرد شدگی و بافت سطح ذرات می شود.

الف فرم ذرات (Form)

رابطه بین سه بعد ذره را فرم می نامند. اگر ابعاد یک ذره را L، I، S بنـامیم، L محـور طـولی ذره (Longitudinal axes) نامیده می شود، I محور متوسـط (Intermediate axes) و S محـور کوتاه (Short axes) ذره نامیده می شود.

بر اساس رابطه بین سه محور ذره، افراد مختلف فرمهای ذرات را بصورت مختلفی تعریف نموده اند. از جمله این افراد، زینگ (Zingg) و فولک می باشند:

- فرم ذرات طبق طبقه بندی زینگ: این طبقه بندی بصورت شکل زیر می باشد.



a) ذرات هم بعد (equal): در این ذرات رابطه L=I=S در بین ابعاد ذره بر قرار است. این ذرات به فرم مکعب (cubic) یا کره (sphere) هستند.

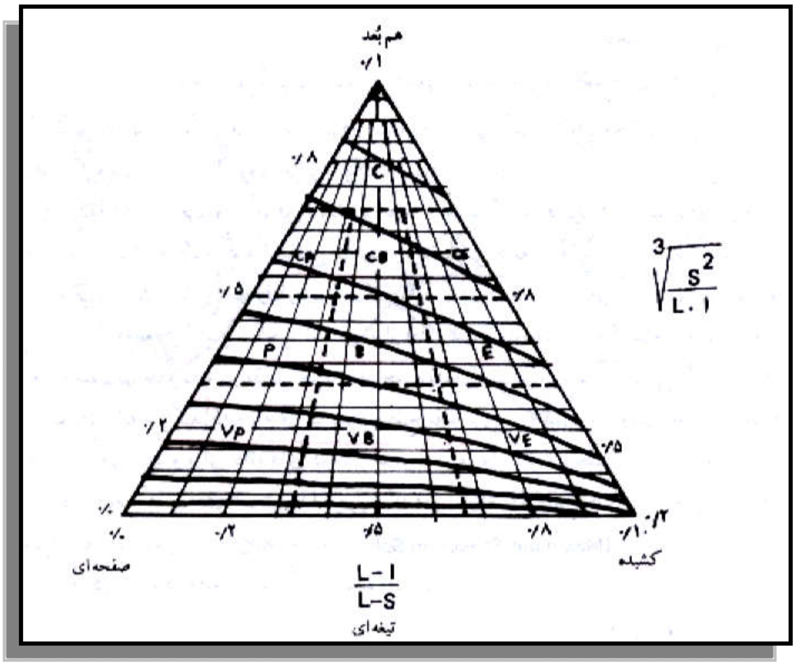
b) ذرات پهن یا صفحه ایی (Oblate or Platy): در این ذرات L=I>S (L=I≠S) است. این ذرات بصورت دیسکی شکل (disc) یا صفحه مانند (tabular) هستند.

c) ذرات میله ای یا کشیده (elongate or prolate): در این ذرات رابطه بین سه بعد بصورت L>I=S (L≠I=S) می باشد. این ذرات بصورت میله یا استوانه ای (rod-shaped or roller) هستند.

d) ذرات تیغه ای شکل (bladed): در این ذرات L>I>S (L≠I≠S) می باشد.

فرم ذرات طبق طبقه بندی فولک:

این رده بندی بصورت مثلث می باشد.



در این رابطه یکی از اضلاع مثلث بر حسب نسبت $\frac{S}{L}$ و ضلع دیگر بر حسب کرویت ذره ($\sqrt[3]{\frac{S^2}{L.I}}$) می باشد. قاعده مثلث نیز بر حسب $\frac{L-I}{L-S}$ است. فرم های اصلی شامل هم بعد (compact)، صفحه ای (platy) و کشیده (elongate) می باشد. فرمهای فرعی دیگری نیز در حد فاصل بین این فرمها قرار دارد.

ب) کرویت ذرات (Sphericity):

کرویت ذرات یعنی اینکه ذرات تا چه حدی به شکل کره نزدیک اند. افراد مختلفی در مورد کرویت ذرات کار نموده اند:

- کرویت وادل (Waddell): کرویت وادل را با علامت Ψ نمایش می دهند و فرمول آن عبارتست از:

$$\Psi = \sqrt[3]{\frac{Vp}{Vcs}} = (\frac{Vp}{Vcs})^{\frac{1}{3}}$$

Vp حجم ذره می باشد و Vcs حجم کوچکترین کره ای است که ذره را در خود جای می دهد. (قطر کره برابر قطر بزرگ ذره است).

واضح است که کرویت وادل یک ذره کروی برابر یک (۱) می باشد.

- کرویت اسنید و فولک (Sneed & Folk):

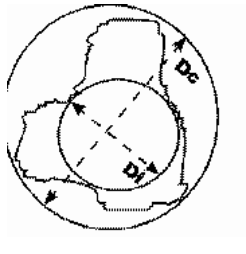
این دو نفر معتقدند که برای اندازه گیری کرویت یک ذره بایستی رفتار دینامیکی ذره را در داخل مایع در نظر بگیریم. اگر ذره ای را در داخل آب بیندازیم، همیشه ذره از طرف بزرگترین سطح خود در داخل مایع سقوط می کند. به این سطح، ماکزیمم سطح تصویری (Maximum Projection Area) می گویند و با علامت اختصاری MPA نشان می دهند. کرویتی هم که از روی این سطح بدست می آید بنام ماکزیمم کرویت تصویری (Maximum Projection Sphericity) می گویند و با علامت اختصاری MPS نشان می دهند. این کرویت برابر است با:

$$MPS = \sqrt[3]{\frac{S^2}{L.I}}$$

کرویت وادل و فولک موقعی کاربرد دارند که هر سه بعد ذره را داشته باشیم ولی در برخی مواقع مثل مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک فقط دو بعد ذره در دست می باشد. در این مواقع برای تعیین کرویت ذرات از روشهای زیر استفاده می کنند:

- کرویت رایلی (Riley):

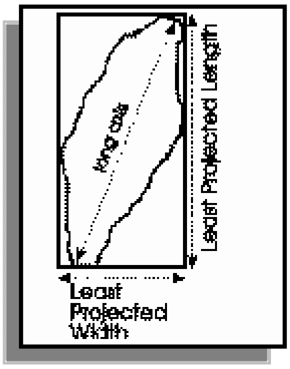
مقدار کرویت رایلی عبارتست از: ریشه دوم نسبت قطر بزرگترین دایره ای که در داخل ذره جای می گیرد (Di) به قطر کوچکترین دایره ای که ذره در داخل آن جای می گیرد (Dc) (شکل زیر).



$$Riley Sphericity = \sqrt{\frac{Di}{Dc}}$$

- روش کشیدگی (elongation):

در این روش ذره را در داخل یک چهار ضلعی محاط می کنند، بطوریکه طول چهار ضلعی برابر بزرگترین طول ذره (L) و عرض چهار ضلعی برابر بزرگترین عرض ذره (W) می باشد. سپس نسبت عرض به طول ($\frac{W}{L}$) را محاسبه می کنند. به این نسبت کشیدگی می گویند.

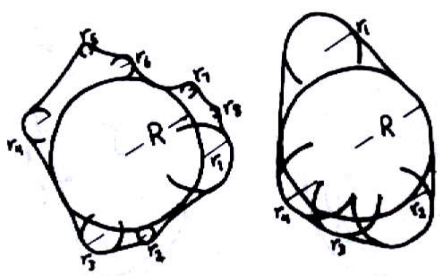


مقدار $\frac{W}{L}$ را که از این راه بدست می آید در بازه های زیر مقایسه می کنند و نوع کشیدگی بدست می آید.

مقدار کشیدگی	نوع کشیدگی
<۰/۶	خیلی کشیده (very elongate)
۰/۶ – ۰/۶۳	کشیده (elongate)
۰/۶۳ – ۰/۶۶	نیمه کشیده (sub elongate)
۰/۶۶ – ۰/۶۹	متوسط (intermediate)
۰/۶۹ – ۰/۷۲	نیمه هم بعد (sub equant)
۰/۷۲ - ۰/۷۵	هم بعد (equant)
> ۰/۷۵	خیلی هم بعد (very equant)

ج) گرد شدگی (Roundness):

گرد شدگی بیانگر مقدار خمیدگی یا تیزی گوشه های ذره است. برای بدست آوردن گرد شدگی ذرات درشت گراول همانند شکل زیر می توان از روش وادل یا فولک استفاده کرد:



- گرد شدگی وادل: میزان گرد شدگی وادل از نسبت شعاع متوسط دوایری که در گوشه هـای ذره وجود دارد به شعاع بزرگترین دایره ای که در داخل دایره محاط می شود، بدست می آید؛ یعنی:

$$\text{گرد شدگی وادل} = \frac{\frac{\Sigma ri}{n}}{R}$$

در این فرمول:

Σri: مجموع شعاع دوایری که در گوشه های ذره جای می گیرند

n: تعداد دوایر در گوشه های ذره

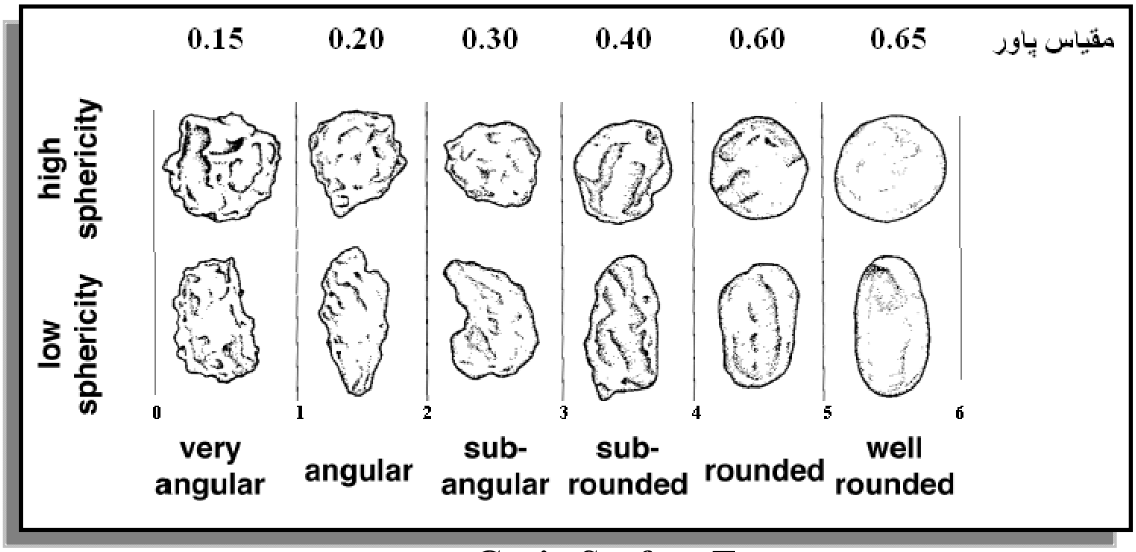
R: شعاع بزرگترین دایره محاط در داخل ذره است.

- گرد شدگی فولک: دابکینز و فولک گرد شدگی را بصورت نسبت شعاع دایره ای کـه در تیزتـرین گوشه ذره جای می گیرد به شعاع بزرگترین دایره محاط در داخل ذره تعریف نمودند؛ یعنی:

$$\frac{ri}{R} = \frac{\text{شعاع دایره در تیزترین گوشه ذره}}{\text{شعاع بزرگترین دایره محاط در ذره}} = \text{گرد شدگی فولک}$$

واضح است که تیزترین گوشه ذره دارای کوچکترین شعاع دایره در بین دوایر موجود در گوشه های ذره خواهد بود.

برای تعیین گرد شدگی ذرات ریز در حد ماسه می توان از طریـق مقایســه ذرات بـا اشـکال گـرد شدگی مقیاس پاور (Power) میزان گرد شدگی ذره را بدست آورد. در این مقیاس، گرد شدگی و نیز کرویت ذرات به ۶ رده تقسیم می شود. این روش بخصوص در مطالعات میرکوسـکوپی مقـاطع نازک ماسه سنگها خیلی مفید می باشد و براحتی می تـوان میـزان گردشـدگی و کرویـت ذرات را بدست آورد. همانطور که در شکل زیر مشـاهده مـی شـود، امکـان دارد ذراتـی کـه دارای کرویـت متفاوتی هستند، دارای گرد شدگی یکسان باشند.



د) بافت سطح ذرات (Grain Surface Texture):

عوارض موجود در سطح ذرات را بافت سطح ذرات می نامند. در ذرات درشت مثل گراول ها این عوارض با چشم غیر مسلح دیده می شود ولی در ذرات در حد ماسه این بافت فقط توسط میکروسکوپ الکترونی قابل مشاهده است. توسط بافت سطح ذرات ما می توانیم حتی در مورد محیط رسوبی ذرات بحث کنیم:

اگر سطح ذرات صیقلی و براق باشد، نشان دهنده منشأ ساحلی ذرات است، چون آنقدر ذرات توسط امواج کشیده می شوند که سطح آنها صیقلی و براق می شوند.

اگر سطح ذرات مات و کدر باشد بیانگر منشأ بادی ذرات است. چون در اثر برخورد ذرات به یکدیگر توسط باد، سطح آنها مات می شود.

اگر در سطح ذرات خطوط خراش (Striation) به همراه شکستگی های صدفی باشد، بیانگر منشأ یخچالی ذرات است؛ زیرا حرکت یخچال باعث کشیده شدن ذرات بر روی ذرات دیگر شده و ایجاد خراش می نماید. از طرف دیگر یخبندان باعث ایجاد شکستگی صدفی ذرات می شود.

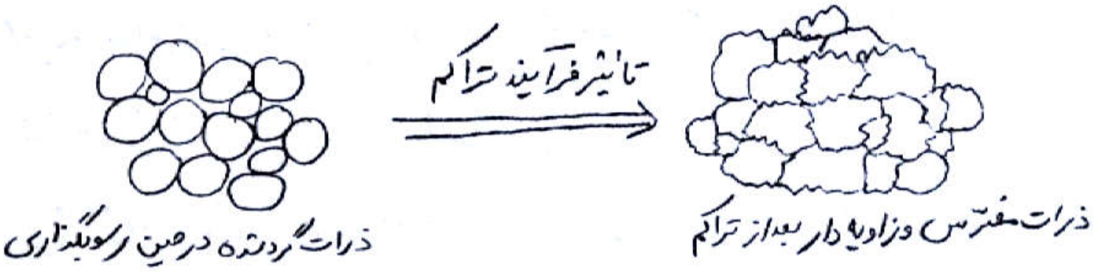
اگر در سطح ذرات شکستگی های V شکل دیده شود، نشان دهنده منشأ رودخانه ایی است. این حفرات در اثر برخورد و سایش ذرات به یکدیگر بوجود می آید.

تعبیر و تفسیر شکل ذرات

شکل ذرات تابع عوامل مختلفی می باشد. این عوامل عبارتند از شکل اولیه ذرات، ترکیب شیمیایی یا جنس ذرات، اندازه ذرات، مسافت حمل ونقل و میزان خوردگی یا انحلال ذرات.

شکل ذرات تا حد زیادی به شکل اولیه ذره به هنگام جدا شدن از سنگ مادر بستگی دارد؛ یعنی شکل ذرات تا حد زیادی موروثی است و از سنگ منشأ به ارث می رسد. این بدین مفهوم است که طرز شکستگی در سنگ منشأ، شکل ذرات را کنترل می کند. برخی از ذرات در موقع جدا شدن به

شکل مکعب می باشند. این ذرات با کمی حمل ونقل به شکل کره در می آیند. برخی دیگر بصورت کشیده از سنگ مادر جدا می شود و در طی حمل ونقل بصورت میله ای شکل در می آیند.
ذراتی که دارای جنس مقاوم باشند، در طی حمل ونقل، دیرتر ریز می شوند و نیز دیرتر گرد شدگی می یابند؛ یعنی اگر شرایط دیگر یکسان باشد، ذرات کوارتز دیرتر از ذرات دیگـر گـرد یـا ریـز مـی شوند.
ذرات درشت نسبت به ذرات ریزتر زودتر گرد شدگی می یابند؛ زیرا ذرات درشت به روش غلتیـدن حرکت می نمایند و بیشتر در تماس با بستر هستند و زودتر سائیده می شوند. با یکسان بودن بقیه شرایط، ذرات گراول زودتر از ذرات ماسه گردشدگی پیدا می کنند.
با افزایش فاصله حمل ونقل میزان گردشدگی ذرات بیشتر می شود و اندازه آنها نیز ریزتر می گردد.
خوردگی و انحلال باعث تغییر شکل و اندازه ذرات در حین حمل ونقل می گردد. این بخصـوص در ذرات آهکی بیشتر مشاهده می گردد.
البته بایستی در مطالعه شکل ذرات مراقب تأثیر فرآیندهای دیاژنزی باشیم. بطور مثال امکان دارد شکل ذرات در حین رسوبگذاری کاملاً گرد شده باشند ولی بعداً در اثر فرآینـد تـراکم مـرز تمـاس ذرات با یکدیگر بصورت مضرس و زاویه دار در آمده باشد (شکل زیر).



علاوه بر فرآیند تراکم، تضاریس در اطراف ذرات کوارتز می تواند در اثر تشکیل سیمان کلسـیتی در بین ذرات بوجود آید. از آنجا که ته نشست سیمان کلسیتی در PH بیشتر از ۷ صورت می گیـرد و در این شرایط سیلیس حل می گردد، لذا در موقع ته نشست سـیمان کلسـیتی قسـمتی از اطـراف ذرات کوارتز حل شده و بصورت مضرس در می آید.
اشکال خاصی از ذرات در محیطهای رسوبی خاصی تجمع بیشتر می یابند. بطور مثال ذرات کروی، میله ای و تیغه ای در محیط رودخانه فراوانتر از بقیه اشکال هستند. در محیط های سـاحلی ذرات دیسکی شکل فراوان ترند.

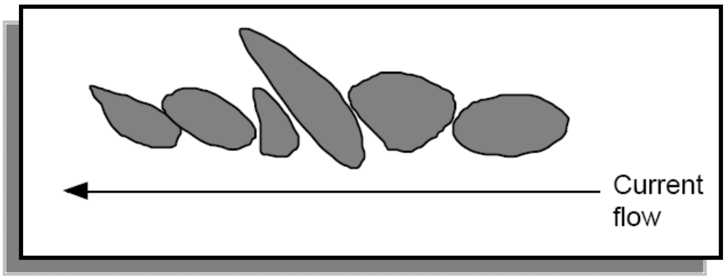
۳– فابریک رسوبی (Sedimentary fabric)

بعد از اندازه و شکل، فابریک رسوبی سومین جزء بافت رسوبی را تشکیل می دهد. فابریک رسـوبی همان طرز قرار گرفتن ذرات می باشد و شامل جهت یافتگی و آرایش ذرات می گردد.

- جهت یافتگی ذرات (Grain Orientation):

جهت یافتگی عبارتست از واکنش یا پاسخ ذرات نسبت بـه عوامـل رسـوبگذاری مـی باشـد. جهـت یافتگی در ذرات درشت و ذراتی که در امتداد یک محور کشیدگی داشته باشند بهتر دیده می شود. برای اینکه حالت سه بعدی جهت یافتگی ذرات بهتر مشخص شود بهتر است دو مقطع عمود بر هم از لایه رسوبی تهیه شود.

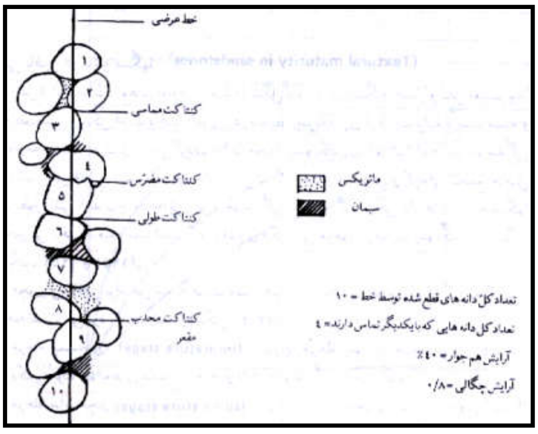
ذرات درشت در مقابل جریان آب، شیبی در خلاف جهت جریان پیدا می کند. بـا افـزایش سـرعت آب، زاویه شیب ذرات در برابر جریان آب بیشتر می شود. با استفاده از این جهت یافتگی می تـوان به جهت جریان آب در رسوبات قدیمه پی برد. اگر ذرات درشت در برابر جریان آب بصـورت شـیب دار در روی یکدیگر قرار گیرند به آن فابریک ایمبریکاسیون (Imberication) می گوینـد (شـکل زیر).



آرایش ذرات (Packing):

نحوه قرار گیری ذرات و فضای بین آنها را آرایش می گویند. آرایش ذرات به دو صورت می باشد:

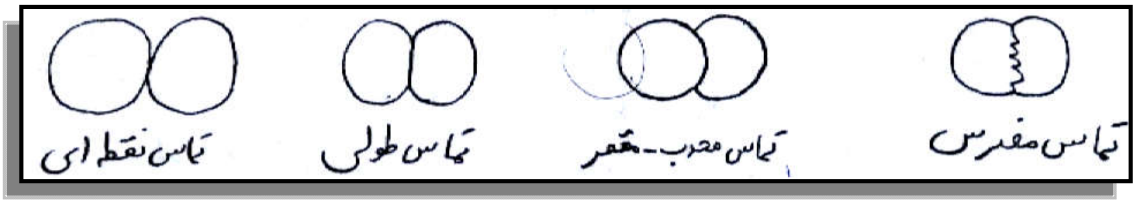
- آرایش هم جوار (Proximity Packing): این آرایش از نسبت بین تعداد تمـاس ذرات کـه در روی یک خط فرضی قرار دارد به تعداد کل ذرات قطع شده توسط همان خط فرضـی، بدسـت مـی آید (شکل زیر).



- آرایش چگالی (Density Packing): این آرایش از نسبت بین جمع طول ذرات قطع شده توسط خط فرضی به طول کل خط فرضی بدست می آید. بطور مثال در شکل فوق مجموع طول ذرات قطع شده توسط خط برابر ۸ سانتی متر می باشد. طول کل خود خط نیز ۱۰ سانتی متر است؛ بنابراین آرایش چگالی آن برابر $\frac{8}{10}$ یعنی ۰/۸ خواهد بود. اگر آنرا بر حسب درصد بیان کنیم برابر ۸۰ درصد خواهد بود.

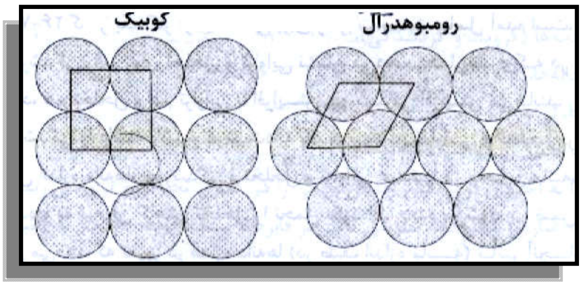
بنابراین آرایش ذرات بستگی به تراکم و فشردگی ذرات، تشکیل سیمان در بین ذرات و نیز جنس ذرات دارد. افزایش تراکم باعث آرایش فشرده (Tighter packing) می شود. تشکیل سیمان در بین ذرات از نزدیک شدن ذرات به یکدیگر در حین تراکم جلوگیری می کند. اگر جنس ذرات نرم باشد نسبت به حالتی که جنس ذرات سخت و محکم است در طی تراکم به هم بیشتر نزدیک می شوند.

تماس بین ذرات (Contact) می تواند از نوع نقطه ای یا مماسی (point or tangential)، طولی (longitudinal)، محدب-مقعر (convexo-concave) و یا از نوع مضرس و دندانه دار (suture) باشد (شکل زیر).



روند تغییر تماس نقطه ای تا تماس مضرس بیانگر افزایش فشار تراکم در رسوبات است. در تماس مضرس حداکثر تراکم ایجاد شده است بطوریکه در مرز بین ذرات فرآیند انحلال شیمیایی (pressure dissolution) صورت می گیرد. به این نوع فشردگی تراکم شیمیایی (chemical compaction) می گویند. تماس نقطه ای تا محدب- مقعر در اثر تراکم مکانیکی (mechanical compaction) حاصل می گردد.

آرایش ذرات در فضای بین ذرات (تخلخل) تأثیر می گذارد. اگر ذرات آرایش مکعبی (cubic packing) داشته باشند، تخلخل برابر ۴۸ درصد خواهد بود. در صورتیکه آرایش ذرات از نوع لوزوجهی (rhombohedral packing) باشد تخلخل به ۲۶ درصد تنزل می یابد (شکل زیر).



رسیدگی یا بلوغ بافتی (Textural maturity)

برای تعیین رسیدگی یا بلوغ بافتی یک رسوب، تعیین مقدار رس یا ماتریکس، میـزان جورشـدگی، میزان گردشدگی مهم می باشد. بر اساس این سه عامل انواع رسیدگی بافتی عبارتست از:

۱- مرحله نابالغ یا نارس (Immature): رسوباتی که بـیش از ۵ درصـد رس دارنـد و جورشدگی بد داشته و ذرات نیز زاویه دار می باشند.

۲- رسوبات نیمه بالغ یا نیمه رسیده (Submature): رسوباتی که کمتر از ۵ درصـد رس دارند ولی جورشدگی آنها هنوز بد بوده و زاویه دار نیز می باشند.

۳- رسوبات بالغ یا رسیده (Mature): رسوباتی که کمتر از ۵ درصد رس دارنـد و یـا بدون رس می باشند. دارای جورشدگی خوب هستند ولی ذرات زاویه دار می باشند.

۴- رسوبات بسیار بالغ یا بسیار رسـیده (Super mature): رسـوباتی کـه فاقـد رس هستند و جورشدگی و گردشدگی خوبی دارند.

۵- برگشتگی بافتی (textural inversion): هر نوع انحراف از چهار حالت قبلـی را برگشتگی بافتی می نامند. برای مثال اگر ذرات با جورشدگی خوب و یا گردشـدگی خـوب در داخل بیش از ۵ درصد رس قرار گیرند، یک انحـراف از حالـت عـادی رسـیدگی بـافتی نشان می دهند؛ زیرا ذرات بایستی اول بدون رس باشند تا بعداً جورشدگی یا گـرد شـدگی صورت گیرد.

نکته: رسیدگی بافتی یک رسوب به آخرین مرحله انرژی رسوبگذاری محـیط رسـوبی بسـتگی دارد. برای مثال امکان دارد ذرات ماسه ای در تپه های ماسه ای کنار ساحل دریا کـاملاً رسـیده باشـند، ولی اگر همین ذرات توسط باد به داخل محیط لاگون دریا حمل شوند باعـث مـی شـود کـه ذرات کاملاً جور شده و گردشده ماسه در داخل زمینه ای از رس های محیط لاگـون دریـا قـرار گیـرد و برگشتگی بافتی ایجاد نماید.

بطور کلی برای تعیین بلوغ بافتی که یکی از اساسی ترین پارامترهای رسوب شناسی است، بصورت زیر عمل می شود:

۱- تعیین میزان رس موجود در سنگ:

الف – اگر بیشتر از ۵٪ رس ماتریکسی در رسوب باشد، در مرحله ایمچور قرار دارد.

ب - اگر کمتر از ۵٪ رس ماتریکسی موجود باشد، سنگ در مراحل دیگر است.

۲-تعیین میزان جورشدگی:

الف – اگر جورشدگی خوب نباشد – بیشتر از ۵/ فی – سنگ در مرحله ساب مچور قرار می گیرد.

ب - اگر جورشدگی خوب باشد - کمتر از ۵/ فی- سنگ در دو مرحله دیگر قرار دارد.

۳- تعیین میزان گرد شدگی:

الف – اگر دانه ها زاویه دار یا بسیار زاویه دار باشند، سنگ در مرحله مچور است.
ب - اگر دانه ها نیمه گرد شده تا خوب گرد شده باشد سنگ در مرحله سوپرمچور است.
حال در تعیین موارد گفته شده باید دقت داشت که اختلافات غیر منتظره مشاهده نگردد؛ یعنی اگر اختلافات غیر منتظره (مثل حضور دانه های گرد شده و ماتریکس) وجود داشت باید گفت سنگ دارای بافت برگشتی (معکوس) است.

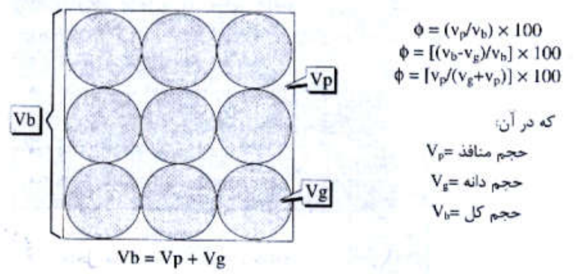
بافت رسوبات و سنگهای آهکی (textural of limestone):

ذرات تشکیل دهنده رسوبات و سنگهای آهکی به دو دسته تقسیم می شوند:

۱- ذرات آهکی که چهارچوب سنگ را تشکیل می دهند و تحت عنوان آلوکم نامیده می شوند. این ذرات شامل همان ذرات اسکلتی و غیر اسکلتی می گردد.
۲- ذرات آهکی که مابین آلوکمها قرار می گیرند و تحت عنوان سیمان یا ماتریکس نامیده می شود.

تخلخل (Porosity)

تخلخل یک سنگ یا رسوب عبارتست از فضای خالی بین ذرات رسوبی، ومقدار آن برابر نسبت حجم حفرات خالی سنگ یا رسوب به حجم کل سنگ یا رسوب می باشد (شکل زیر نحوه محاسبه تخلخل را بطور شماتیک نشان داده است).



دیاگرام شماتیک که در آن حجم منافذ (Vp)، حجم دانه (Vg) و حجم کل (Vb) یک نمونه متخلخل نشان داده شده است

تخلخل فوق را بنام تخلخل کل (Total porosity or Bulk porosity) می نامند. تخلخل کل شامل مجموع تخلخل مفید یا موثر (effective porosity) و تخلخل غیر مفید یا غیر موثر (non-effective porosity) است. در تخلخل مفید، حفرات توسط کانالهایی با هم در ارتباط هستند ولی در تخلخل غیر مفید یک حفره با حفره دیگر ارتباطی ندارد.

انواع تخلخل:

تخلخل به دو نوع اولیه و ثانویه تقسیم می شود:

۱- تخلخل اولیه (Primary Porosity):

تخلخلی است که در حین رسوبگذاری و یا همزمان با رسوبگذاری ذرات ایجاد می شود. این تخلخل به انواع زیر تقسیم می شود:

- تخلخل بین ذره ای یا بین دانه ای (Intergranular or Interparticle Porosity):

تخلخلی است که در بین ذرات وجود دارد. تخلخل ماسه سنگها بیشتر از این نوع است.

- تخلخل درون ذره ای یا درون دانه ای (Intragranular or Intraparticle Porosity):

این تخلخل بصورت حفره در درون ذرات وجود دارد. اغلب فسـیلها در داخـل خـود حـاوی حجـره هستند. به این دلیل این تخلخل اغلب در آهک ها دیده می شود.

- تخلخل پناهگاهی (Shelter Porosity):

این تخلخل عبارت از حفراتی است که در زیر ذرات باقی می ماند و ذره مانند مانع و پناهگاهی مانع ورود رسوبات به داخل حفره می شوند. (مثل حفراتی زیر پوسته دوکفه ای).

تخلخل حاصل از رشد (Growth Porosity):

این تخلخل در اثر رشد موجودات حاصل می شود. برای مثال در هنگام رشد مرجان، احتمـال دارد حفراتی در لابه لای شاخه های مرجان باقی بماند.

۲- تخلخل ثانویه (Secondary Porosity):

این تخلخل بعد از عمل رسوبگذاری و اغلب در اثـر فرآینـدهای دیـاژنز بوجـود مـی آیـد. انـواع آن عبارتند از:

- تخلخل بین بلوری (Intercrystalin Porosity):

این تخلخل در اثر تبدیل آهک به دولومیت حاصل می شود.

- تخلخل قالبی (Moldic Porosity):

این تخلخل در اثر انحلال ذره آهکی بوجود می آید. (این نوع تخلخـل در سـنگهای آهکـی بیشـتر دیدع می شود).

- تخلخل حفره ای (Vuggy Porosity):

در این تخلخل عمل انحلال از اندازه ذره فراتر می رود و محدود به اندازه ذرات نیسـت؛ یعنـی ایـن تخلخل از اندازه ذرات و فابریک سنگ مستقل است و تبعیت نمی کند. اندازه حفره اگر بزرگ باشد، تخلخل از نوع غاری (Cavern) تشکیل می شود و اگر بصورت طولی در امتداد شکستگی ها باشد، تخلخل کانالی (Channel) نامیده می شود.

- تخلخل روزنه ای یا شبکه ایی (Fenestral Porosity):

این تخلخل در اثر بدام افتادن حباب های هوا در داخل رسوبات و یا در اثر عمل تخمیر و فتوسـنتز جلبک ها حاصل می شود. موقعی که آبهای کف آلود به ساحل برخـورد مـی کننـد، باعـث تزریـق

حباب های هوا بداخل رسوبات می شوند. آهک هایی که دارای این نوع تخلخل باشند بنام آهک چشم پرنده ای (birds eye) نامیده می شود.

- تخلخل حاصل از شکستگی (Fracture Porosity):

سنگهایی که خاصیت شکنندگی داشته باشند در اثر فشار نیروهای تکتونیکی شکستگی می یابند. در آهک ها و ماسه سنگها این تخلخل می تواند وجود داشته باشد.

- تخلخل حاصل از حفاری موجودات (Boring or Burrowing Porosity):

این تخلخل در اثر فعالیت موجودات حاصل می شود. حفاری جهت ایجاد پناهگاه در رسوبات و یا بدست آوردن غذا در صدف موجودات صورت می گیرد. حفاری در اجسام سخت را boring و در رسوبات نرم را burrowing می گویند. این تخلخل نیز به فابریک سنگ بستگی ندارد.

- تخلخلهای حاصل از ایجاد ترکهای گلی (Mud Crack Porosity):

تشکیل ترک های گلی در رسوبات باعث ایجاد تخلخل می شود. این تخلخل نیز از فابریک تبعیت نمی کند.

تخلخلهای حفره ای، حاصل از شکستگی، حاصل از حفاری موجودات و حاصل از ترک گلی را که به فابریک سنگ بستگی ندارند به نام تخلخل های کنترل نشده توسط فابریک (non-fabric selective) می نامند. بقیه تخلخل ها توسط فابریک سنگ کنترل می شوند و تحت تخلخلهای کنترل شده توسط فابریک (fabric selective) می نامند (شکل زیر).

نفوذ پذیری (Permeability):

توانایی یک سنگ در عبور دادن سیالات را نفوذپذیری می نامند. نفوذ پذیری بستگی به میزان تخلخل مفید سنگ دارد. با افزایش تخلخل مفید میزان نفوذپذیری بیشتر می شود. مقدار نفوذپذیری در یک نمونه از رابطه زیر بدست می آید:

$$Q = \frac{KA(\rho_2 - \rho_1)}{\mu L}$$

در این فرمول:

Q مقدار دبی جریان بر حسب سانتی متر مکعب بر ثانیه.

K ضریب نفوذپذیری بر حسب دارسی است.

A سطح مقطع سنگ برای جریان سیال بر حسب سانتی متر مربع می باشد.

P2-P1 تغییر فشار در دو طرف نمونه بر حسب پواز است.

L طول جریان سیال یا نمونه بر حسب سانتی متر است.

یعنی اگر سنگی با سطح مقطع یک سانتی متر مربع و طول یک سانتی متر بتواند جریانی با ضریب گرانروی یک پواز را با سرعت یک سانتی متر در ثانیه با اختلاف فشـار یـک اتمسـفر در دو طـرف، جریان را از خود عبور دهد، دارای ضریب نفوذپذیری یک دارسی خواهد بود.

عوامل مؤثر در میزان تخلخل و نفوذپذیری:

این عوامل عبارتند از:

۱-اندازه ذرات: اندازه ذرات در میزان تخلخل رسوب یا سنگ تأثیری ندارد ولـی بـر روی تخلخـل مفید تأثیر دارد؛ یعنی با افزایش اندازه ذرات میزان تخلخل مفید بیشتر از غیر مفید می شود ولی با کاهش اندازه ذرات تخلخل غیر مفید بیشتر می شود. در هر دو حالت میزان تخلخـل کـل یکسـان است. برای مثال در شیل و ماسه سنگ داریم:

نوع سنگ	تخلخل کل	تخلخل مفید	تخلخل غیر مفید
ماسه سنگ	٪۳۰	زیاد (٪۲۰)	کم (٪۱۰)
شیل	٪۳۰	کم (٪۱۰)	زیاد (٪۲۰)

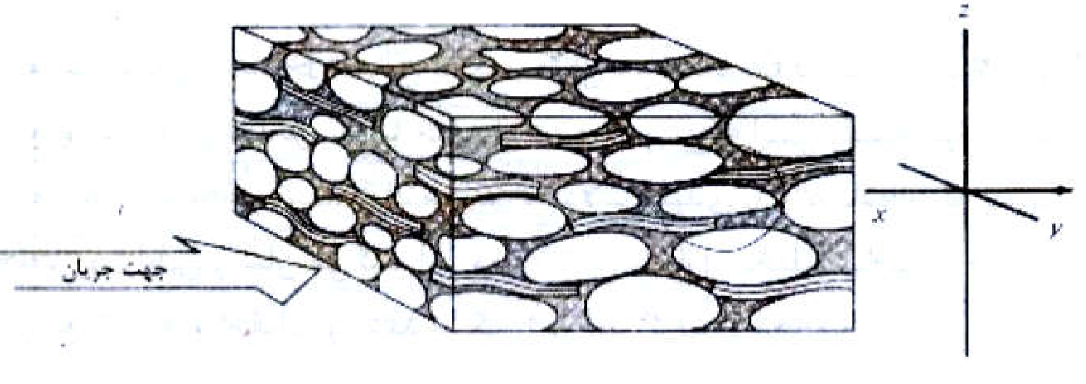
اندازه ذرات در نفوذ پذیری تأثیر دارد. با افزایش اندازه ذرات، نفوذپذیری نیز بیشتر می شود.

۲-شکل ذرات: شکل ذرات در میزان تخلخل و نفوذپذیری نقش دارد. ذرات زاویـه دار نسـبت بـه ذرات گرد شده دارای تخلخل و نفوذپذیری بیشتری هستند؛ زیرا گوشه هـای تیـز ذرات از بـه هـم نزدیک شدن بیش از حد ذرات جلوگیری می کند ولی ذرات گرد شده به راحتی در نزدیک یکدیگر قرار می گیرند.

۳-جورشدگی ذرات: با افزایش جورشدگی ذرات میزان تخلخل و نفوذپذیری رسوبات بیشتر مـی شود؛ زیرا اگر جورشدگی رسوبی کم باشد، ذرات ریز در بین ذرات درشت تر قرار می گیرند و فضای خالی بین ذرات درشت را پر می کنند.

۴-طرز قرار گرفتن ذرات یا فابریک رسوبی: برای ایـن منظـور بایسـتی تـأثیر آرایـش ذرات و جهت یافتگی آنها را بر روی تخلخل و نفوذ پذیری بیان کنیم.

جهت یافتگی ذرات در روی تخلخل تأثیری ندارد ولی در نفوذپذیری موثر است. نفوذپذیری سـنگ یا رسوب در سمت جهت یـافتگی ذرات بیشـترین مقـدار را دارد. در جهـت عمـود بـر لایـه بنـدی نفوذپذیری کمترین مقدار را دارد ... یعنی در یک لایه، رابطه $Kx>Ky>Kz$ در بین نفوذپذیری در سه جهت برقرار است (شکل زیر).



قطعه‌ای از یک ماسه‌سنگ که به‌طور تیپیک دانه‌ها به موازات جریان جهت یابی شده اند

فرآیندهای رسوبی (Sedimentary Processes):

شامل مجموعه فرآیندهایی است که از زمان حمل ونقل تا تبدیل رسوب بـه سـنگ تـداوم داشـته باشند که شامل فرآیند های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و دیاژنتیکی هستند.

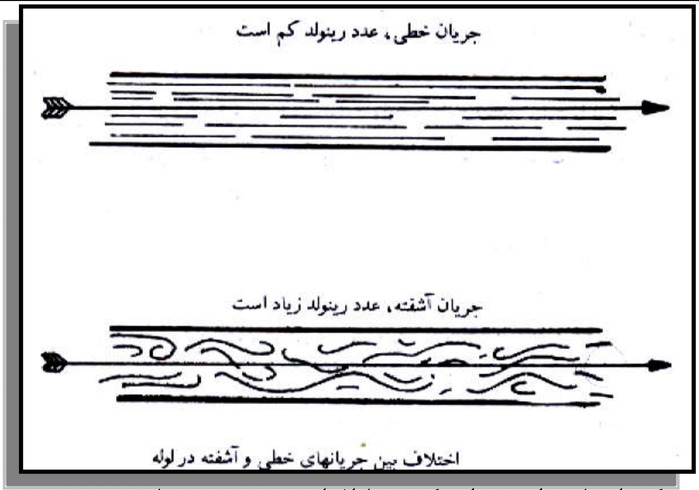
۱– فرآیندهای فیزیکی (Physical Processes):

فرآیندهای فیزیکی شامل حمل ونقل و رسوبگذاری دانه ها می شود. ذرات پس از تخریب به توسط آب، باد و یا یخ حمل و در حوضه رسوبی ته نشین می شوند. برای بررسی بیشـتر خـواص فیزیکـی باید شرایط دینامیکی حرکت ذرات جامد در هوا یا آب را مورد بررسی قرار داد؛ زیـرا بـدین وسـیله می توان نتیجه حاصل را با فرآیندهای رسوبی که باعـث تشـکیل آنهـا گردیـده انـد، مـرتبط کـرد؛ بنابراین، بررسی فرآیندهای فیزیکی برای تعبیر و تفسیر ساختمانهای رسـوبی (مثـل طبقـه بنـدی مورب) و نحوه توزیع ذرات در رسوبات مهم می باشند.

فرآیند هیدرودینامیکی در رودخانه:

انواع جریان

جریان آب در روذخانه به دو صورت خطی و آشفته می باشد که خود به سرعت جریان بستگی دارد. در جریانهای خطی یا لامینار (Laminar flow) ذرات جامد در مایع بصـورت خطـی در در یـک لایه از مایع حرکت می کنند به نحوی که لایـه بـالایی و پـائینی بـا هـم مـوازی هسـتند. ولـی در جریانهای آشفته (Turbulence flow) که با افزایش سرعت پدید می آید، ذرات جامـد در مـایع بصورت مارپیچی حرکت می کنند؛ لذا در این حالت نیروی موجود در مایع بیشتر از نیرویـی اسـت که ذرات را رسوب می دهد. در جریانهای آشفته ذرات به طرف بالا، جلو و پائین حرکت مـی کننـد ولی در جریانهای خطی ذرات فقط به سمت جلو حرکت می کنند (شکل زیر).



رینولد با آزمایشاتی که انجام داد عنوان کرد: با افزایش سرعت، مایع به دو صورت بالا حرکت می کند. رینولد از نظر فیزیکی چگونگی حرکت ذرات مایع را بوسیله معادله بدون بعدی (معادله یا عدد رینولد) ارائه داد:

$$\operatorname{Re} N = \frac{\rho VL}{\mu}$$

که ρ: چگالی مایع، V: سرعت مایع، L: مسافت و μ: ویسکوزیته مایع است.

نتایج آزمایش های رینولد:

رینولد عنوان کرد که اگر عددد بدست آمده برای **مایعات داخل لوله** کمتر از ۲۰۰۰ باشد جریان بصورت خطی است؛ و اگر مقدار آن بیشتر شود جریان بصورت آشفته می باشد. همچنین برای **ذرات جامد در مایع** اگر عدد بدست آمده از یک بیشتر باشد جریان بصورت آشفته و اگر از یک کمتر باشد جریان بصورت خطی است.

پس می توان نتیجه گرفت: سرعت جریان آب رابطه مستقیمی با عدد رینولد دارد.

چنانچه در معادله رینولد به جای L (طول)، d (قطره ذره) را بگذاریم:

$$\operatorname{Re} N = \frac{\rho VD}{\mu}$$

که ρ: چگالی ذره، V: سرعت ذره، D: قطر ذره و μ: ویسکوزیته مایع است.

رینولد چون زمین شناس نبود ۲ عامل مهم را در محاسبات خود مد نظر نداشته: ۱) رس (که باعث افزایش ویسکوزیته می شود) و ۲) حرارت (که سرعت تابعی از حرارت می باشد).

بنابراین، باید این دو فاکتور مدنظر قرار گرفته شود. بطور کلی در مورد ذرات دانه ریز ویسکوزیته اهمیت زیادی دارد، بنابراین می توان از معادله رینولد استفاده کرد ولی در حرکت ذرات دانه درشت نیروی گرانش اهمیت بیشتری دارد، لذا از معادله دیگری بنام معادله یا عدد فروید (Froude number) استفاده می شود. معادله فروید عبارتست از:

$$Fr = \frac{\text{نیروی اینرسی}}{\text{نیروی گرانش}} = \frac{\rho V^2 L^2}{\rho L^3 g} = \frac{V^2}{gL}$$

اغلب مهندسین هیدرولیک معادلهٔ فرود را به صورت زیر مورد استفاده قرار می‌دهند.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

سرعت ذره V

نیروی تنبلی، برای مثال مسافت طی شده بوسیلهٔ ذره قبل از رسوب کردن L

شتاب براساس گرانش g

برای جریان در کانالهای باز معادلهٔ فرود به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

حد متوسط سرعت جریان V

عمق کانال D

محاسبه سرعت رودخانه

سرعت جریان آب در کانالهای باز یا رودخانه ها با استفاده ازفرمول شزی (Chezy) محاسـبه مـی گردد به صورت زیر نوشته می شود.

$$V = C\sqrt{RS}$$

که در آن V: سرعت رودخانه، C: ضریب خشونت بستر، R: شعاع هیـدرولیکی جریـان و S: شـیب رودخانه می باشد.

اما شعاع هیدرولیکی خود برابر است بـا: $R = \frac{A}{P}$ کـه A: سـطح مقطـع رودخانـه و P: قسـمتهای نمناک یا محیط نمناک رودخانه است و برابر است با: P = 2d+w.

ضریب خشونت شزی خود برابر است با: $C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$. بنا بر این فرمول شزی را می توان بصورت زیر نوشت:

$$.V = \sqrt{\frac{8g}{f}}.\sqrt{\frac{AS}{2d+w}} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{8gAS}{f(2d+w)}}$$

بطوریکه در این فرمول نشان داده شده است، گسترش یا پراکندگی سرعت در رودخانـه عـلاوه بـر پارامترهای دیگر به سطح خشونت بستر رودخانه نیز بستگی دارد.

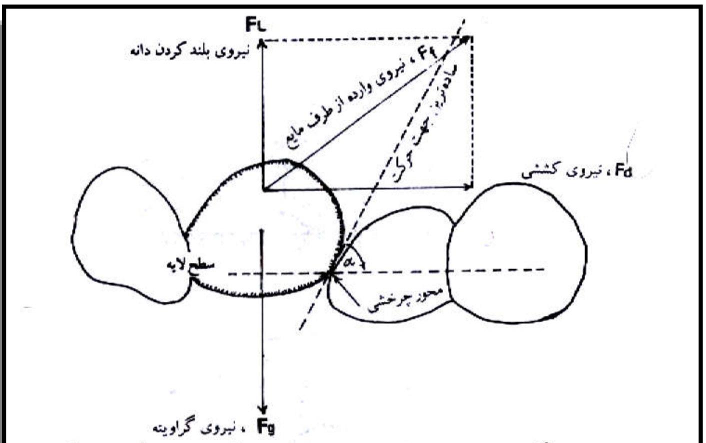
بعضـی از متخصصـین تـرجیح مـی دهنـد جهـت محاسـبه سـرعت رودخانـه از فرمـول مانینـگ (Manning) استفاده کنند که به شرح زیر می باشد.

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

در معادله مانینگ مقدار سرعت و شعاع هیدرولیکی باید بر حسب فوت بر ثانیه باشد تا بتوان از عدد ثابت ۱/۴۹ استفاده کرد.

مکانیزم حرکت اولیه دانه (تخریب)

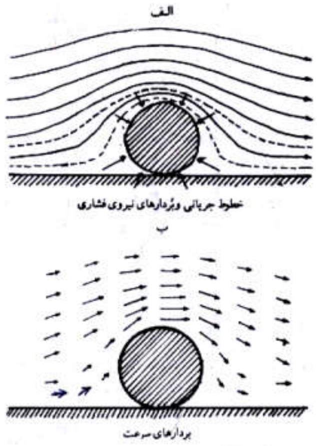
بر هر ذره ای که در برابر عبور یک سیال قرار گیرد، ۴ نیرو به شرح زیر وارد مـی شـود: ۱- نیـروی وزن (F_g) ۲-نیروی اصطکاک (F_f) ۳-نیروی بلند کننده ذره (F_l) و ۴- نیرویی کـه باعـث حرکـت روبه جلوی ذرات می شود (F_d). از بین این ۴ نیرو، ۲ نیروی اول مقاوم و ۲ نیروی دوم موثر هستند (شکل زیر).



ــ دیاگرامی از نیروهای مؤثر برروی دانه‌ها در سطح لایه ای که از دانه‌های یک اندازه تشکیل شده و درمسیر جریان قرار گرفته است

مطالعات نشان داده که دانه بصورت عمودی از زمین بلند می شود و سپس در هنگام پائین آمدن و برخورد به دانه های دیگر به حرکت خود ادامه می دهد که این عمل را جهش می گوینـد. فرآینـد جهش در هوا بهتر از آب صورت می گیرد، زیرا نیروی بلند کردن دانه فقط هنگامی که دانه در روی سطح زمین قرار دارد موثر است و مسوول حرکت اولیه آن می باشند. ولی زمانی کـه دانـه از جـای خود بلند شد، نیروی کششی هوا یا آب مسوول حرکت آن است؛ لذا آزمایشها نشان داده اسـت کـه به دلیل اختلاف چگالی بین آب و هوا، می تواند دانه هـای بـا قطـر مشـخص و بـا اسـترس برشـی مشخص برای حرکت دانه در کف بستر را ۸۰۰ مرتبه بالاتر از آب ببرد.

برای درک بهتر نیروی هیدرولیکی بلند کردن دانه باید ارتباط هیدرودینامیکی آن مورد بررسی قرار گیرند که توسط معادله برنولی (Bernoulli equation) ارائه شده است. بطوری که در شکل زیر نشان داده شده است، اگر دانه استوانه ای شکل در مسیر جریان بـه نحـوی قـرار گیـرد کـه محـور کشیده آن عمود بر جهت جریان باشد، چون خطوط جریانی قادر نیستند تا از جامدات عبور کننـد دانه را دور زده و عبور می نمایند.



ـ آزمایش انجام شده برای حرکت سیالات از روی استوانه ای که در سطح لایه قرار دارد و محور بلند آن عمود بر جهت جریان است. الف ـ نمایش خطوط جریانی و اهمیت نسبی فشارهایی که در روی استوانه وارد می‌شود. ب ـ نمایش جهت و اهمیت نسبی بردارهای سرعت. افزایش سرعت در محلی که خطوط جریانی دربخش الف بهم نزدیک شده‌اند قابل توجه است (اقتباس از بلت و دیگران، ۱۹۸۰).

حال اگر جریان دائمی باشد (سرعت و فشار در نقطه معینی از جریان بر حسب زمـان ثابـت باشـد) این خطوط جریانی با یکدیگر موازی بوده و در بالای دانه بـه یکـدیگر نزدیـک مـی شـوند و باعـث افزایش سرعت می گردند. بر طبق معادله برنولی، مجموع انرژی موجود در مسـیر خطـوط جریـانی برابر با عدد ثابتی خواهد بود.

معادله برنولی: $P + gy + \frac{\rho V^2}{2} =$ عدد ثابت

که در اینجا:

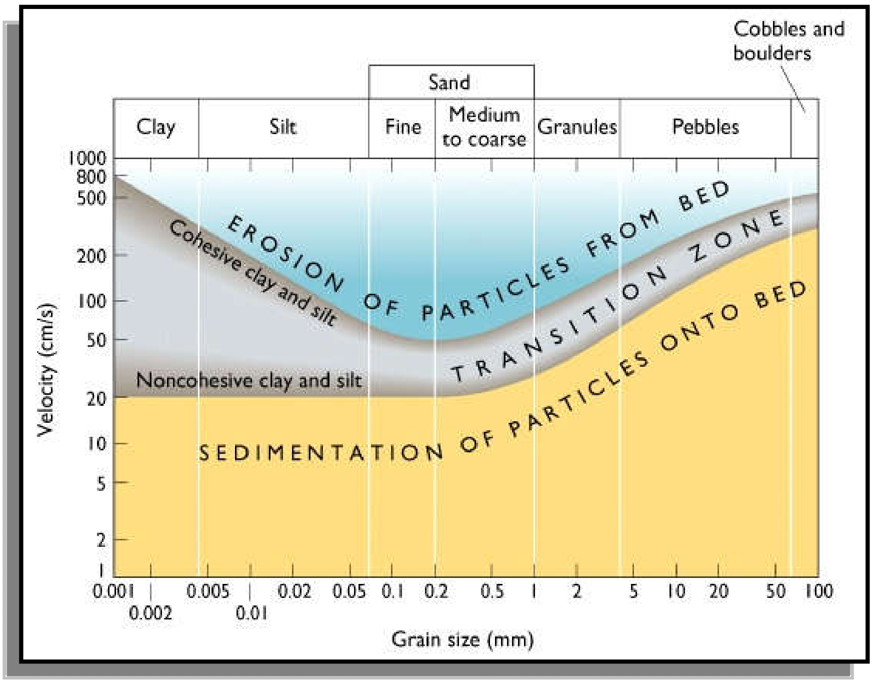
ρ= چگالی، P= فشار، y= ارتفاع از یک سطح مشخص و V= سرعت

نکته: معادله برنولی برای جریان های بدون ویسکوزیته به کاربرده می شـود، زیـرا در جریانهـای بـا ویسکوزیته ممکن است مقداری از انرژی بر اثر اصطکاک از دست برود، ولی مـی تـوان از آن بـرای جریانهای با ویسکوزیته نیز استفاده کرد؛ بنابراین می توان چنین نتیجه گرفت، در جایی که خطوط به هم نزدیک می شوند، سرعت افزایش پیدا می کند و فشار در مقایسه با فشار منطقه کاهش مـی یابد تا اینکه دائماً عدد ثابت باشد؛ لذا کاهش فشار در قسمت بالایی دانه ها باعث می شود تا آنها از سطح زمین بلند شوند. آزمایشهای انجام شده نشان می دهد که پس از بلند شدن دانه ها از سـطح لایه، خطوط جریانی بصورت متقارن در دو طرف دانه قرار می گیرند و آن را به طرف جلو می برنـد که در اینجا نیروی بلند کردن دیگر موثر نیست و آنرا بالاتر نخواهد برد.

نیروی کششی ممکن است دانه را در روی دانه های دیگر بصورت غلتیدن حرکت دهد. در هنگـام حرکت دانه، نیروی کششی که باعث غلتیدن دانه در طول محور آن می گردد باید برابـر بـا نیـروی گرانش که از حرکت آن جلوگیری می کند، باشد. آنالیزهای دینامیکی نشان داده است کـه ارتبـاط بین اندازه دانه و دانه های مجاور اثر زیادی در زاویـه محـور چرخشـی و درجـه پوشـشـی دانـه کـه بتوسط دانه های دیگر احاطه شده است، دارد. این دو فاکتور برای دانه های درشتی که بتوسط دانه

های ریزتر احاطه شده اند کاهش می یابد و احتمال می رود که این عمل باعث شودتا دانه های درشت تر سریعتر از دانه های ریزتر حرکت کنند. پس می توان گفت که: مکانیسم حرکت اولیه دانه یا تخریب کف بستر به نیروی هیدرولیکی بلند کردن دانه از زمین و نیروی کششی دانه در کف بستر بستگی دارد.

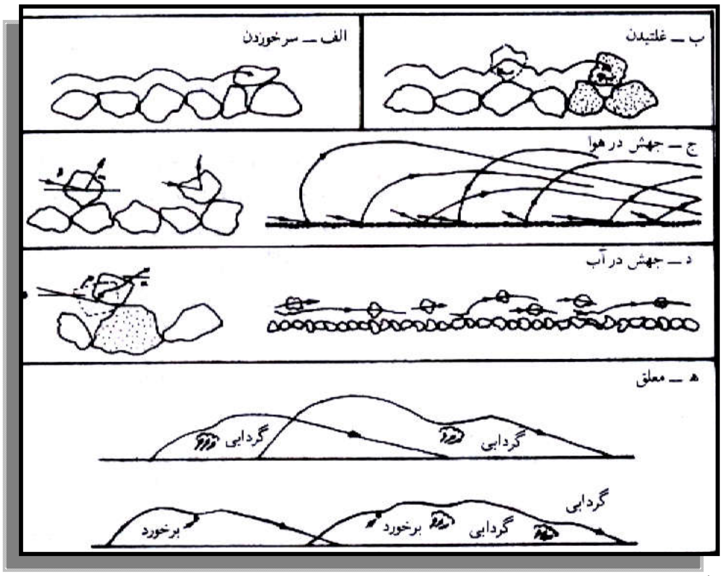
برای حرکت دانه ها سرعت جریان باید به حد بحرانی برسد تا اینکه بتواند دانه ها را از جای خود حرکت دهد و با خود حمل کند. این سرعت بحرانی توسط دیاگرام هیلستروم (Hjulstrom) در رابطه با قطر دانه ها نشان داده شده است (شکل زیر):



نکته: در این دیاگرام سرعت بحرانی فقط برای جریانهای با عمق یک متر آزمایش شده است که کاربرد آنرا مشکل می سازد، زیرا اندازه گیری سرعت در عمق یک متر از کف رودخانه مشکل می باشد. همانطوری که در این دیاگرام نیز نشان داده شده است، سرعت بحرانی برای تخریب و حرکت دانه ها با افزایش قطر آنها زیاد می شود، باستثنای ذرات دانه ریز (رس) که برای تخریب آنها به سرعت زیادتری نیاز است؛ زیرا ذرات دانه ریز دارای خاصیت چسبندگی بوده و به یکدیگر متصل می شوند. همچنین ذرات دانه ریز رسی در سطح دارای ناهمواری بیشتر و زاویه دارتر می باشند، لذا در مقابل جریان آب مقاومت بیشتری از خود نشان می دهند.

طرق مختلف حرکت دانه ها

- دانه ها در آب و هوا به صورت غلتیدن، سر خوردن، جهش و معلق بودن انتقال می یابند.



حرکت دانه ها در کف بستر:

A) بار بستر (bed load): دانه های درشت و متوسط (گراول ماسه)

B) بار معلق (suspention load): ذرات ریز سیلت و رس

C) بار کششی (Traction load): تمام دانه هایی که به موازات کف بستر حرکت می کنند

D) بار شسته شده (Washload): ذرات رسی که معلق در آب حرکت می کنند

E) بار گرد و خاکی (Dust load): ذرات رسی که معلق در هوا حرکت می کنند.

تساوی هیدرولیکی (Hydrolical equivalent particles): ذراتی که در آب ساکن با سرعت یکنواخت رسوب کنند

تساوی آئرودینامیکی (aerodynamically equivalent particles): ذراتی که در هوای ساکن با سرعت یکنواخت رسوب کنند

ذرات با تساوی رسوب گذاری (sedimentation equivalent particles): تمام ذراتی که با یکدیگر توسط آب یا هوا رسوب کنند.

- خزش سطحی (Surface Creep): دانه های معلق در هوا هنگام برخورد به دانه های ساکن سبب خزش سطحی در آنها می شوند.

- جور شدگی هیدرولیکی (Hydrolical sorting): طرق مختلف حرکت دانه ها موجب می گردد که دانه ها در ادازه های مختلف به روش های مختلف حرکت کنند. این اختلاف در نوع حرکت باعث می شود که یک جدایی در اندازه و شکل دانه ها بوجود آید که بنام جورشدگی هیدرولیکی گفته می شود.

- تساوی قطری ذراتی که به صورت معلق حرکت می کنند بهتر از حرکت به صورت بار بستر است

فرآیندهای حمل و نقل و رسوب گذاری:

به طور کلی توسط جریان های کششی، دانسیته ای، معلق یا یخچال ها است.

طبقه‌بندی فرآیندهای رسوبی و رسوبات مختلفی که توسط آنها تشکیل می‌گردد (اقتباس از سلی، ۱۹۸۲)

حمل در محیط خشکی	رسوبات کششی	عمدهٔ ماسه‌های با طبقه‌بندی مورّب
	رسوبات دانسیته‌ای	ابر سوزان (Nuees ardentes) و غیره
	رسوبات معلق	لس
حمل در محیط آبی	رسوبات کششی	عمدهٔ ماسه‌های با طبقه‌بندی مورّب
	رسوبات دانسیته‌ای (توربیدیتی)	ماسه‌ها، سیلت‌ها و رس‌ها، طبقه‌بندی تدریجی
	رسوبات معلق	رس‌های نفلوئیدی (Nepheloid clays)
حمل ونقل به‌توسط نیروی گراویته	در خشکی و در آب	معمولاً فاقد چینه‌بندی یا جورشدگی بد که اندازهٔ دانه‌ها از بولدر تا رس تغییر می‌کند (دیامیکتیت‌ها)
حمل ونقل به‌توسط یخچالها		

A) جریان کششی: حرکت دانه به صورت غلتیدن، سر خوردن، جهش و ایجاد طبقه بندی مورب

B) جریان دانسیته ای: اختلاف چگالی بین مواد سیال، فاقد کراس بدینگ، دارای طبقه بندی تدریجی

C) تعلیق: حمل پس از آرام شدن محیط، ذرات رسوب می کند.

D) یخچالی: دارای جور شدگی بد می باشند.

فرآیندهای رسوب گذاری در محیط آبی:

A) رسوب گذاری توسط جریان های کششی

- دانه های درشت و متوسط: به صورت غلتیدن، جهش
- دانه های ریز: به صورت معلق

توجه: اشکالی که با افزایش سرعت جریان در سطح لایه های ماسه ای تشکیل می گردند:

A) لایه بندی افقی، $Fr<1$ (عدد فرود) – لایه مسطح تحتانی

B) دیپل مارک، $Fr<1$ (عدد فرود) – شیب زیاد در جهت جریان و شیب کم در خلاف جهت جریان می باشد.

C) دون با ریپل هایی در سطح آن، $Fr<1$ (عدد فرود)

ریپل- ارتفاع آن کمتر از ۵cm است

دون- ارتفاع آن بیشتر از ۵cm است.

B) دون شسته شده یا مرحله حد واسط، $Fr \approx 1$ (عدد فرود)

E) طبقات مسطح فوقانی، Fr=1 (عدد فرود) یا Fr>1 (عدد فرود)

F) امواج ماسه ای یا ایستاده، Fr>1 (عدد فرود)

G) دون برگشتی یا آنتی دون، Fr>1 (عدد فرود)

- در اثر حرکت آن طبقه بندی مورب با شیب زیاد در خلاف جهت جریان تشکیل می شود.

H) گودال ها و سراشیبی ها

توجه داشته باشید

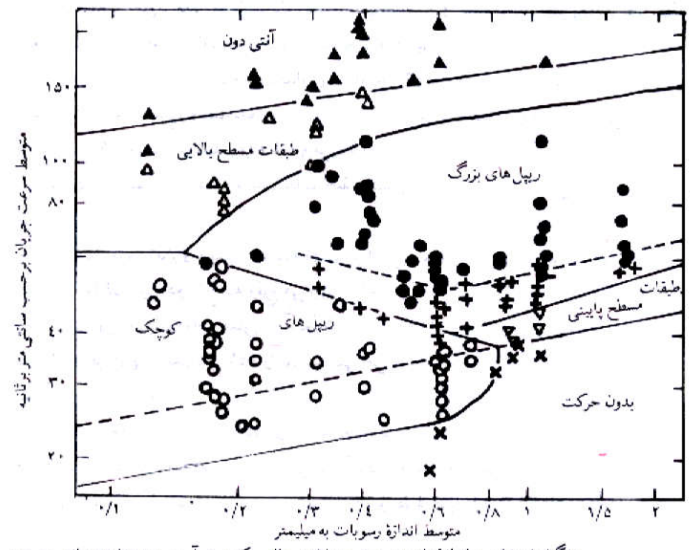
در D, C, B, A= حرکت دانه ها عمدتاً غلتیدن

در G,F,E= حرکت دانه ها به صورت ممتد، غلتیدن – متناوب

- از مرحله A به G: سرعت امواج افزایش می یابد.

- درجه حرارت در ویسکوزیته مایع موثر است، ویسکوزیته مایع در قطر دانه رسوب شده موثر است، قطر دانه رسوب شده در نوع ساختمان رسوبی موثر است.

هارمز و دیگران نشان دادند که با افزایش سرعت جریان و تغییر اندازه دانه ها اشکال مختلف رسوبی تشکیل می گردند و آن را بصورت دیاگرامی (شکل زیر) ارائه دادند.



ـــ دیاگرام ارتباط بین اندازهٔ دانه و سرعت جریان در حالتی که عمق آب بین ۱۸ تا ۲۲ سانتی متر بوده است. دایره‌های توخالی، ریپل مارک های کوچک؛ علامت به علاوه ریپل های بزرگ دو بُعدی (مگاریپل و امواج ایستاده)، دایره‌های توپر، ریپل های بزرگ سه بُعدی (مگاریپل ها و دون ها)؛ مثلثهای توخالی، طبقات مسطح بالایی؛ مثلثهای توپر، آنتی دون (دون برگشتی)؛ مثلثهای توخالی معکوس، طبقات مسطح پایینی؛ و علامت × ، بدون حرکت بودن دانه‌های رسوبی (اقتباس از هارمز و دیگران، ۱۹۸۲).

در این دیاگرام درجه حرارت آب دقیقاً ۱۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است، زیرا درجه حرارت خود یکی از فاکتورهای کنترل کننده ویسکوزیته می باشد و با تغییر ویسکوزیته قطر دانه

رسوبی تغییر می کند. برای رسوباتی که اندازه دانه های تشکیل دهنده آنها کمتر از ۰/۱ میلی متـر (ماسه خیلی ریز تا سیلت درشت) است، ابتدا هیچ گونه حرکتی در رسوبات رخ نمی دهـد ولـی بـا افزایش سرعت رسوبات شروع به حرکت می کنند و ریپل مارکهای کوچک، طبقات مسطح بالایی و آنتی دون تشکیل می شود. در این توالی ریپل مارکهای بزرگ تشکیل نمی شود و نبود طبقه بندی مورب با مقیاس بزرگ در رسوباتی که اندازه دانه های آنها در این حد باشد خود مؤید این موضـوع است (نکته دیاگرام هارمز بسیار مهم است).

رسوب گذاری توسط جریان های توربیدیتی:

اختلاف چگالی بین دو مایع در اثر درجه حرارت، شوری، یا میزان ذرات معلق سبب ایجـاد جریـان های دانسیته ایی می شود.

- اگر اختلاف چگالی در اثر میزان ذرات معلق در آب باشد، جریان حاصل را توربیدیتی گویند.
- توجه: جریان توربیدیتی نوعی از جریان های دانسیته ای یا چگالی است.

سرعت جریان دانسیته ایی = $V = \frac{2(d2-d1)}{d1}.gh$

D2-d1: اختلاف چگالی بین جریان توربیدیتی و مایع

- بدنه جریانهای توربیدیتی

۱- جلو یا پیشانی- A (جریان واگرا)

۲- بدنه یا مرکزی- B

۳-دنباله- C (جریان پاره پاره)

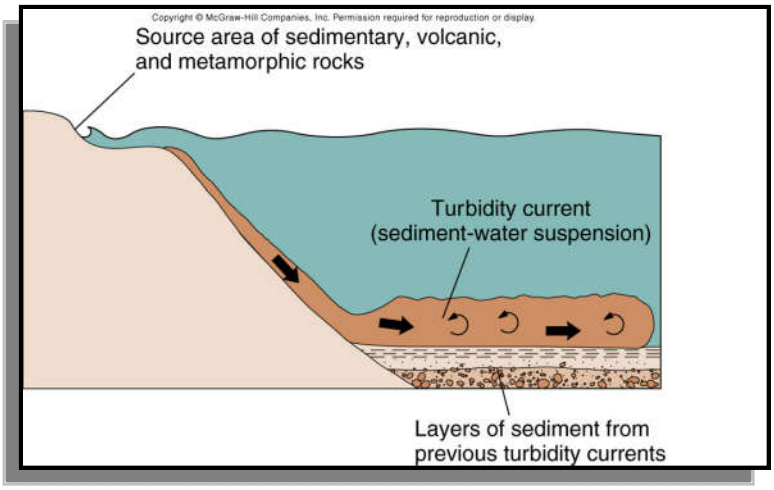
-A- تخریب ۲ برابر، ضخامت بیشتر از بقیه، سرعت آن کمتر از بخش مرکزی

-B- رسوب دانه درشت، سرعت بیشتر از بخش جلویی است.

-C- رسوب دانه ریز

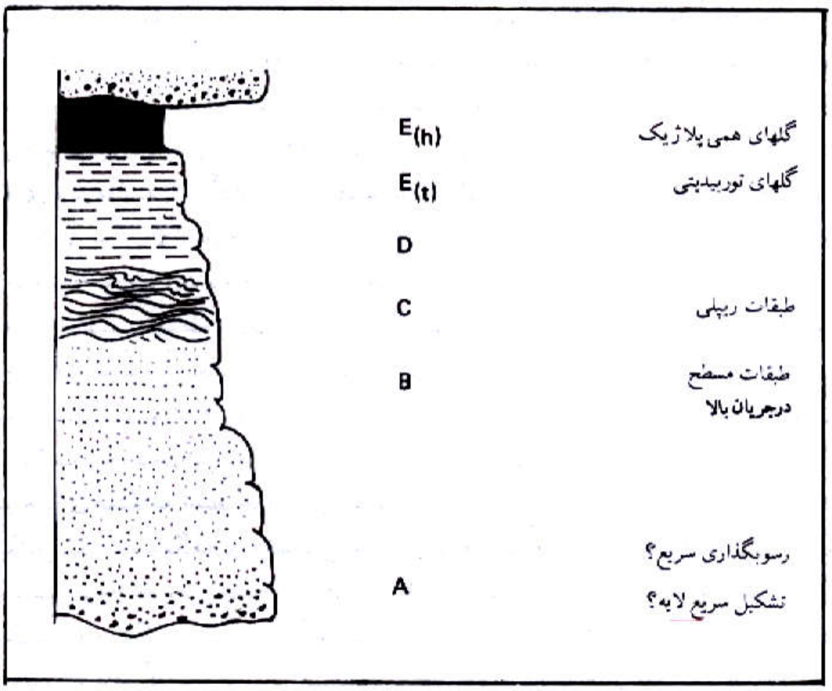
بخش جلویی یا A، ایجاد کننده اصلی اشکال رسوبی است.

به شکل زیر توجه شود:



مدل سیکل بوما (مدل بررسی جریان های توربیدیتی):

- سیکل بوما شامل ۵ بخش یا عضو یا ممبر می باشد.



شکل ۱۱-۴ ــ مدل کلاسیک بوما برای رسوبات توربیدیتی و تعبیر و تفسیر هیدرودینامیکی آن. لایه‌بندی در بخش A توده‌ای یا تدریجی، B لامینه‌ای موازی، C دارای ریپل مارک، D لامینه‌های سیلتی و گلی توربیدیتی، و E رسوبات گلی همی پلاژیک (اقتباس از وا در، ۱۹۸۴b).

نکات:

- از A به E انرژی محیط کاهش یافته و به تبع آن سرعت کم می شود.
-در B و C دانه ها به صورت کششی حمل شده اند.

- عموماً اندازه دانه ها در رسوبات توربیدیتی کمتر از 0.15mm است، پس دون نداریم.
- بخش C,B از رسوب گذاری مجدد و رسوب گذاری ممتد با کاهش تدریجی سرعت تشکیل می شوند.
- بخش C,B,A که درشت تر هستند توسط بخش مرکزی یا بدنه جریان توربیدیتی تشکیل شده اند.
- بخش E,D توسط بخش دنباله جریان توربیدیتی نهشته می شوند.

انواع رخساره های توربیدیتی:

A: نزدیک به منشا (پروکسیمال) لایه بندی ضخیم و اندازه دانه درشت، دارای ۵ ممبر می باشد، نسبت ماسه به شیل زیاد است.

B: دورتر از منشا (دیستال)، لایه بندی نازک، اندازه دانه ریز، عموماً فاقد ممبرهای B,A هستند، نسبت ماسه به شیل کمتر است.

- با دور شدن از منشا به علت کاهش شدت جریان، سیکل بوما از ممبر C,B شروع می شود.

رسوب گذاری ذرات معلق (ذرات سیلت و رس بصورت معلق حمل می شوند):

- مکانیزم های حرکت ذرات دانه ریز به صورت معلق:

1) رسوب گذاری در قسمت دنباله جریان توربیدیتی (با کاهش انرژی).

- واروها یا نهشته های فصل

تابستان: انرژی بالا- ذرات سیلت- رنگ روشن

زمستان: انرژی پایین- ذرات رسی- رنگ تیره

2) لایه های نفلوئید: دارای ضخامت 1000m تا 2000m اختلاف چگالی آب دریا و جریان توربیدیتی سبب گسترش مواد معلق بطور گسترده می شود. (مسافت حمل کوتاه است)

3) جریان هیپوپیکنال: آب حاوی ذرات معلق با چگالی متفاوت در اثر برخورد به آب دریا، سبب ته نشست ذرات معلق می شود.

فرآیندهای رسوب گذاری در محیط بادی:

انواع حرکت:

ذرات درشت: به صورت کششی (گاهی سیلت هم کششی حمل می شود).

ذرات ریز: به صورت معلق

توجه: ابر سوزان در خشکی معادل جریان توربیدیتی در آب می باشد.

رسوب گذاری رسوبات بادی توسط جریان کششی:

انواع حرکت:

ذرات درشت: سر خوردن، خزش سطحی یا جهش

ذرات ریز: به صورت معلق

نکته: سرعت بحرانی برای حرکت ذرات سیلت و رس بیشتر از ماسه خیلی ریز و در حد ماسه متوسط است. (علت حالت چسبندگی و زاویه دار بودن آنهاست)

- علت اختلاف مکانیزم تشکیل ریپل مارک در محیط آبی و بادی به علت حرکت جهش در محیط بادی است.

در محیط بادی:

طبقات مسطح که در ناحیه با شیب کم ریپل و دون و ناحیه بین آنها تشکیل می گردد.

طبقات مورب که در اثر حرکت تپه ها تشکیل شده است (از نوع مسطح با زاویه زیاد)

توجه: لس، توده ای، فاقد لایه بندی و دارای گسترش زیاد و دارای کمی سیمان کلسیتی هستند و متعلق به محیط بادی می باشند.

فرآیندهای یخچالی:

رسوبات به جای مانده از آن دارای جور شدگی بد، ایممچور، دارای خطوطی بر روی ذرات، فاقد طبقه بندی می باشند. سنگ حاصله از رسوبات یخچالی را دیا مکتیت یا میکسیت گویند. (اندازه ذرات از رس تا بولدر متغیر می باشد)

فرآیندای گراویته ای یا ثقلی:

حرکت و رسوب گذاری در مناطق شیب دار که آب با کاهش اصطکاک عامل اصلی آن است.

رسوب گذاری به فرم سقوط سنگی، لغزش، ریزش و جریان های توده ای است.

- جریان های حاصل از آن: A) جریان گلی B) جریان ماسه ای

نکته: تفاوت جریان ماسه ای با جریان توربیدیتی:

۱) کنتاکت تخریبی مشخص در بخش تحتانی ماسه ها بدون فولت کست در جریان ماسه ای

۲) نبود طبقه بندی تدریجی در جریان ماسه ای

۳) وجود طبقه بندی توده ای در جریان ماسه ای

۴) پراکندگی ذرات درشت در داخل ماسه ها در جریان ماسه ای

۵) اندازه دانه ها به طرف بالا تغییر نمی کند در جریان ماسه ای

توجه:

A: جریان ماسه ای مربوط به رسوب گذاری در داخل کانال های زیر زمینی

B: رسوبات توربیدیتی مربوط به رسوب گذاری در مخروط های زیر دریایی و قسمت انتهایی آن.

جریان توده ای < زمین لغزش < سقوط سنگی
⟵
کاهش زاویه شیب

فرآیندهای بیولوژیکی (منشا آن فرآیند بیوشیمیایی موجودات است):

۱- تراوش مواد اسکلتی کربنات کلسیم توسط موجودات زنده
۲- کاهش اندازه اسکلت های کربنات کلسیم به خرده های اسکلتی
۳- به تله انداختن و نگهداری ذرات رسوبی توسط موجودات زنده
۴- پلتی شدن
۵- حفاری توسط موجودات زنده گل خوار
۶- اثرات موجودات زنده میکروسکوپی

* کربنات کلسیم: بیشترین حجم تولید کربنات کلسیم در عهد حاضر بر اثر جلبک های سبز-قرمز می باشد.

- انواع کربنات کلسیم:

کلسیت با منیزیم کم ($<4\%$)، بیشتر در محیطهای قدیمه
کلسیت با منیزیم زیاد ($>4\%$)، بیشتر در عهد حاضر
آراگونیت، بیشتر در عهد حاضر

* استروماتولیت: نوعی از جلبک سبز- آبی دارای یک سری لامیناسیون، بطور متناوب از ذرات ریز جلبکی و رسوبی (خارجی) تشکیل شده و در مناطق کم عمق توسط سیمان به هم متصل گشته است (لایه تیره استروماتولیت می باشد).

* پلتی شدن: جانورانی رسوبات کف دریا را جهت تغذیه مصرف و پسمانده را به صورت پلت مدفوعی یا فیکال پلت دفع می کنند که به این عمل پلتی شدن گویند. پلت ها بیشتر در کربنات ها بوده و در شیل ها خیلی کم دیده می شوند.

* حفاری موجودات زنده گلخوار در رسوبات:
- بورینگ: حفاری موجودات در بستر سخت
- باروینگ: حفاری موجودات در بستر نرم
- بایوتوربیشن: حرکت موجودات زنده در کف بستر که باعث به هم ریختگی طبقات رسوبی می شود.

توجه: بایوتوربیشن سبب= کاهش جور شدگی و تخلخل و نفوذ پذیری می شود.

- موجودات زنده میکروسکوپی:
۱- قارچ ها و باکتری های هتروتروفیک: اکسیداسیون مواد آلی
۲- باکتری های اتوتروفیک: اکسیداسیون مواد غیر آلی
- در بحر المیت باکتری های اتوتروفیک ژیپس را به کلسیت تبدیل می کنند.

بررسی فرآیندهای شیمیایی:

- تغییرات در رسوبات به فرم شیمیایی و در حالت محلول صورت می گیرد.
PH یا اسیدیته محیط:
نکته: در PH بالا، کربنات کلسیم رسوب و Si محلول می باشد.
نکته: کربنات کلسیم در PH بالا و حرارت بالا رسوب می کند.

در
PH اسیدی: چرت رسوب می کند و کربنات ها حل می شوند.
PH قلیایی: کربنات کلسیم رسوب و چرت (Si) حل می شود.

* محیط اسیدی: پیت باتلاقی، آب باران، آب رودخانه یا دریاچه شیرین.
* محیط احیایی: سیدریت، آب دریا، ائید (عمق کم)، پیریت، رسوبات آهکی دار، گلاکوئیت و ...
توجه:
رسوبات Si تا PH=9 نا محلول و از 9 به بعد محلول اند.
- چرت در PH کمتر از 9 تشکیل می شود.
- مواد آلی مال Eh احیا ولی در محیط های به شدت احیاء گلاکونیت تشکیل نمی شود.
- فسفریت (آلی) متعلق به محیط احیا و فسفات متعلق به محیط اکسیدان است.
- رس ها در PH: 6-8 معلق می باشند. (خارج از این محدوده رسوب می کنند)
- AL د ر PH: 6,5 نا محلول است (پس رسوب می کند)
* اکسیداسیون و احیا (Eh):
* C.C.d یا عمق موازنه کربنات کلسیم:
در ۴ تا ۶ هزار متری به علت تراکم گاز کربنیک عمق موازنه را داریم که در آن میزان کربنات کلسیم در رسوبات به شدت کاهش می یابد (میزان انحلال= میزان ورود به محیط)

عمق موازنه:

ACD- آراگونیت در حدود عمق هزار متری

CCD- کلسیت کم Mg در حدود ۴ تا ۶ هزار متری

SCD- رسوبات پیلیسی قهوه ای در بیش از ۶ هزار متری

OCD- رسوبات اپالی

پس کربنات کلسیم

- در محیط قلیایی PH= رسوب گذاری (انحلال کوارتز)
- در محیط اسیدی PH= انحلال (رسوب کوارتز)

*** مطالعه حداقل و حداکثر PH:**

۱) حداکثر PH=۱۱ (این مقدار بر اثر فتوسنتز یا واکنش باکتری ها یا هیدرولیز Naco3 یا Nahco3 حاصل می شود)

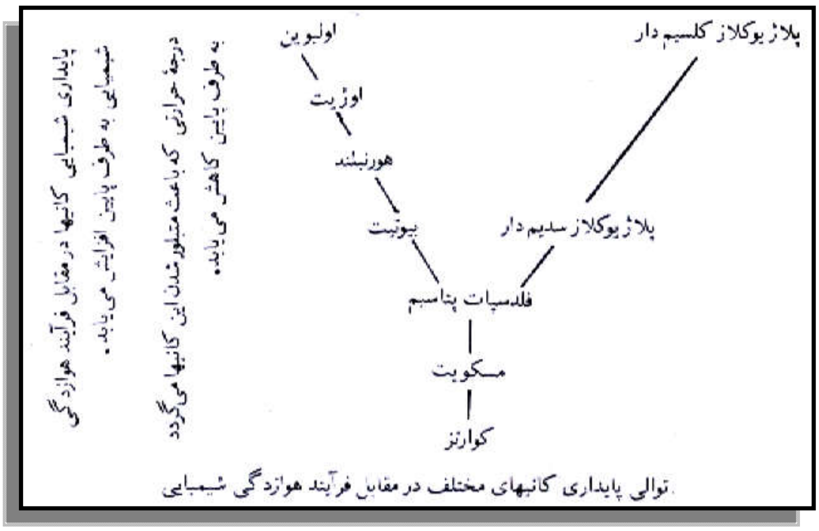
۲) حداقل PH= ۱ یا ۲ (در محیط اسیدی قوی شامل اسید سولفوریک دیده می شود)

*** هوازدگی (Weathering):**

A: هوازدگی مکانیکی= در آب و هوای سرد

B: هوازدگی شیمیایی- در انواع مختلف آب و هوا- مرتبط با حرارت، گیاه و باکتری ها و ...

*** توالی مقاومت یا پایداری گلدیش:**



هر کانی که در سری باون زودتر تشکیل شود، زودتر هم هوا زده و تخریب می شود.

*** ترتیب ته نشست کانی های تبخیری: (Evaporites)**

با افزایش شوری و غلظت آب: (ترتیب ته نشست)

۱) کربنات ها (مانند دولومیت و آهک)

۲) سولفات ها (مانند ژیپس و انیدریت)

۳) کلریدها (مانند نمک طعام و سیلویت)

*** کانی های اتوژن:**

بر اثر واکنش های شیمیایی در محل تشکیل می شوند مانند زئولیت، فلدسپات و کوارتز.

*** رنگ رسوبات:**

توجه: کانی های اصلی تشکیل دهنده رسوبات بی رنگ هستند و کانی های فرعی نیز رنگ خاصی ندارند.

- به مواد رنگی که مقدار آنها عموماً نا چیز است پیگمان یا رنگدانه می گویند.

A) سیاه و خاکستری- ترکیبات اکسید نشده مواد آلی و پیریت

B) آهن سه ظرفیتی (هماتیت) – قرمز

C) هیدرواکسید ها (گویتت) – قهوه ای

D) لیمونیت (ذرات کلوئیدی) - زرد

E) کانی رسی- سبز

F) گلاکوئیت-سبز

** دیاژنز:

مجموع تغییرات فیزیکی و شیمیایی غیر آلی و یا بیوشیمیایی که در رسوبات بعد از تجمع و قبل از دگرگون شدن صورت می گیرد که شامل:

۱) فشردگی یا تراکم

۲) سیمانی شدن: فراوان ترین سیمان ها کربنات کلسیم و Si می باشد.

۳) انحلال: انحلال یک کانی بدون عمل جانشینی (کربنات کلسیم)

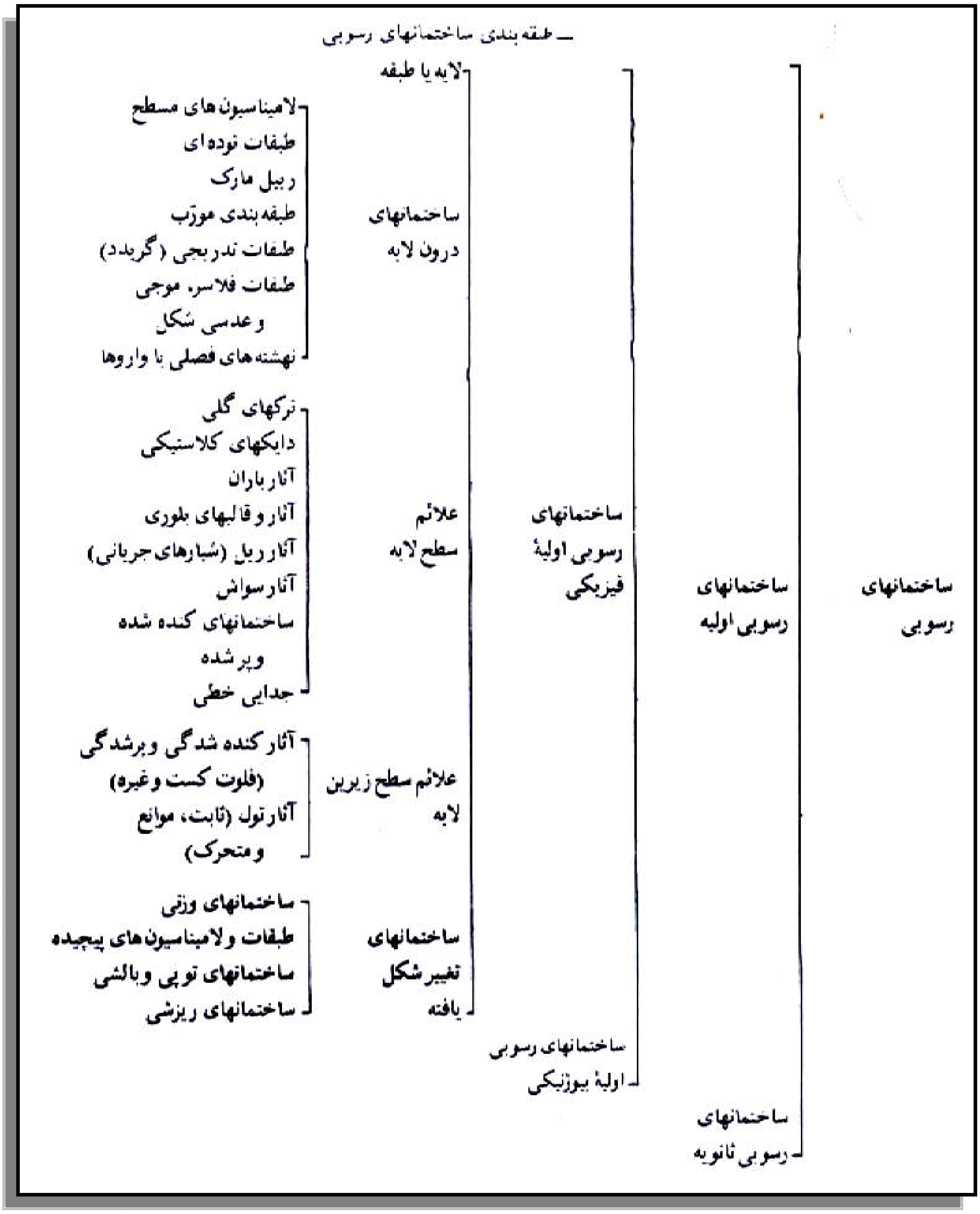
۴) تبلور مجدد: تبدیل یک کریستال به کریستال دیگر بدون حذف مواد (آراگونیت به کلیت)

۵) جانشینی: حذف قسمتی از کانی و جانشینی آن (کربنات کلسیم به جای سیلیس)

۶) دگرسانی: ایجاد یک کانی جدید (احتمالاً) مانند تجزیه فلیداتها و تشکیل رس ها

* ساختمان های رسوبی:

عبارتند از اشکال در توده سنگی که بزرگتر از اجزای تشکیل دهنده سنگ است.



لایه یا طبقه یا bed:

- دارای بافت، جنس و ساختمان داخلی متفاوت از بالا و پایین.

- انواع کنتاکت شامل: ۱) مشخص ۲) تدریجی

توجه:

چینه: لایه هایی با ضخامت های متفاوت

لایه: چینه ای که ضخامت بیشتر از cm ۱ دارد

لامینه: چینه ای که ضخامت کمتر از cm ۱ دارد.

دسته یا مجموعه یا چند لایه یا طبقه روی هم

مجموعه پیوسته یا coset: چند مجموعه روی هم

تقسیمات اینگرام در مورد لایه بندی:

. طبقه بندی لایه ها براساس ضخامت آنها

		ضخامت
لامینه	لامیناسیون نازک (thinly Laminated)	کمتر از ۰/۳ سانتی متر
لامینه	لامیناسیون ضخیم (thickly Laminated)	۰/۳ تا ۱ سانتی متر
لایه	لایه بندی خیلی نازک (very thinly bedded)	۱ تا ۳ سانتی متر
لایه	لایه بندی نازک (thinly bedded)	۳ تا ۱۰ سانتی متر
لایه	لایه بندی متوسط (medium bedded)	۱۰ تا ۳۰ سانتی متر
لایه	لایه بندی ضخیم (thickly bedded)	۳۰ تا ۱۰۰ سانتی متر
لایه	لایه بندی خیلی ضخیم (very thickly bedded)	بیشتر از ۱۰۰ سانتی متر

لامیناسیون های مسطح:

در سرعت کم آب: فاقد جدایی خطی

در سرعت زیاد آب: دارای جدایی خطی

در لامیناسیون مسطح:

در جریان بالا: لامیناسیون مسطح در سیلت و ماسه- فاقد ریپل و دون

در جریان پایین: در ماسه کوچکتر از mm0.6= فاقد ریپل به علت سرعت پایین.

علت حذف لایه بندی

۱-دیاژنز: در سگ آهک و دولومیت

۲- بایوتوربیشن: به هم ریختن طبقات توسط موجودات

۳- در بخش پایین رسوبات توربیدیتی

*** ریپل مارک:**

۱- ریپل نا متقارن: جریانی (شیب دو طرف نا برابر)

۲- ریپل متقارن: موجی (شیب دو طرف برابر)

دو بخش ریپل عبارتند از

۱- بخش دارای شیب ملایم: خلاف جهت جریان

۲- بخش دارای شیب تند: در جهت جریان

نکته: جریان از شیب ملایم به طرف شیب تند است.

- اندیس ریپل: طول موج تقسیم بر ارتفاع (جهت تفکیک ریپل ها، به خصوص بادی از آبی)

- بخش های ریپل:

فوقانی: سرعت زیاد- منطقه بدون پراکندگی- حرکت ذرات به جلو

میانی: انرژی کمتر- منطقه مخلوط- حرکت ذرات به جلو و پایین

پایینی: انرژی در حد صفر- جریان در جهت عکس- حرکت ذرات به عقب

- انواع ریپل جریانی:

هلالی- زبانه ای- زنجیره ای- پیچیده یا مارپیچی- مستقیم (نکته: از ریپل مستقیم به هلالی افزایش انرژی را داریم)

* **طبقه بندی مورب**: حرکت ریپل و دون باعث می شود که رسوبات در قسمت پشتی جایی که شیب زیادتر باشد، بر روی هم انباشته شوند و طبقه بندی مورب را تشکیل دهند.

- انواع طبقه بندی مورب:

۱- مورب مسطح: در اثر حرکت ریپل مستقیم یا کمی پیچ دار

۲- مورب عدسی: در اثر حرکت ریپل نا منظم

۳- لامیناسیون مورب عدسی شکل با مقیاس کوچک: حرکت ریپل زبانه ای

۴- طبقه بندی مورب عدسی شکل با مقیاس بزرگ: حرکت دون مارپیچی

- چینه بندی ریپلی: طبقه بندی تشکیل شده در اثر حرکت ریپل ها می باشد.
- ریپل تداخلی: جهت طبقه بندی مورب آن ۹۰ درجه باهم اختلاف دارند (دو ریپل خلاف هم)
- لامیناسیون ریپلی رورانده: سطح مایل، بدون سطح تخریب، تشکیل در اثر افزایش سرعت و میزان دانه های ماسه، رسوب گذاری هم در بخش پر شیب و هم کم شیب.

نکته: ریپل در رسوبات دانه درشت و دانه ریز (رس ها به علت چسبندگی) تشکیل نمی شود.
پس عمدتاً در سیلت های درشت و ماسه هایی با اندازه کمتر از 0.7 mm تشکیل می شوند.
نکته: عمق آب در اندازه و طول ریپل موثر نیست، مگر اینکه کم باشد.
توجه:

ارتفاع ریپل: 5 cm >
ارتفاع دون: 5cm <

- لایه های ایجاد شده توسط ریپل پایدارتر از دونما در طبیعت هستند.

- طبقه بندی مورب در هم (herring bone): جهت شیب یک سری مورب با جهت شیب سری بالایی ۱۸۰ درجه اختلاف دارد (مختص محیط رفت و برگشتی)
- طبقه بندی مورب تپه ای یا پشته ای (hummocky): کنتاکت تحتانی تخریبی، لامیناسیون یک سری موازی با سطح تخریبی است. در یک سری لامینه مورب، لامیناسیون بطور جانبی ضخیم و شیب کم می شود، جهت شیب با لایه های بالایی در جهت های مختلف است. ارتفاع آن 10cm تا 50cm است. آنها در رسوبات سیلتونی (دانه درشت و ماسه ای خیلی ریز). شاخص محیطهای طوفانی می باشد

توجه: عمده طبقات مورب در رسوبات سیلتی و ماسه ای است.

- ساختمان جناغی (Chevron Structure):

در جریان های موجی که آب و رسوب به صورت متقارن در دو جهت حرکت می کنند، ریپل موجی در سطح رسوب ایجاد می شود که حرکت و رسوب ذرات در دو طرف این نوع ریپل طبقات مورب جناغی را تشکیل میدهد (طبقات دارای شیب خلاف هم).

- سطوح دوباره فعال شده (Reactivation surface):

در یک سری طبقه مورب یک سطح شیب دار دیده می شود که لایه ها را جدا می کند، ولی لایه ها به صورت هم شیب در دو طرف این سطح قرار دارند. غالباً در طبقه بندی مورب تابولار دیده می شود که نشانه تغییر جهت جریان می باشد.

طبقات فلاسر، موجی و عدسی شکل:

A) طبقات فلاسر: یک سری لایه بندی مورب در رسوبات ماسه ای که توسط ریپل ها ایجاد می شوند. ابتدا انرژی زیاد که سبب تشکیل طبقات مورب می شود، سپس در اثر کاهش انرژی، ذرات دانه ریز بین طبقات مورب ته نشست می یابد و این فرآیند به صورت تناوبی عمل خواهد نمود. این طبقات مختص محیط های جزر و مدی می باشند.

B) طبقات عدسی: یک سری لایه بندی مورب عدسی شکل ماسه ای که در آنها مقدار ماسه کمتر از گل است. چنانچه میزان انرژی محیط خیلی کم شود، رسوبات دانه ریز گلی (رسی و سیلتی) در منطقه رسوب می کنند. چنانچه انرژی برای مدت کوتاهی افزایش یابد، ذرات ماسه ای به محیط حمل شده و ریپل های ناقصی را در سطح رسوبات گلی تشکیل می دهند؛ بنابراین در اثر تدفین شدن ریپل های ماسه ای درون رسوبات گلی طبقات عدسی شکل به وجود می آید.

C) طبقات موجی: قرار گرفتن یک لایه ماسه ای و یک لایه دانه ریز بطور متناوب را گویند.

توجه:

طبقات فلاسر: انرژی زیاد، مقدار گل کمتر از ماسه است.

طبقات موجی: انرژی متغیر، مقدار گل و ماسه تقریباً معادل است.

طبقات عدسی: انرژی کم، مقدار ماسه کمتر از گل است.

طبقات تدریجی:

اندازه رسوبات تدریجاً از پایین به بالا در یک واحد رسوبی کم می شود. اغلب بر اثر توربیدایت تشکیل می شوند. وجود ذرات دانه ریز و دانه درشت با هم نشانه کاهش ناگهانی انرژی محیط می باشد. این طبقات از اختصاصات رسوبات فلیش است که به صورت ضخیم در مناطق عمیق دریا تشکیل شده اند.

نهشته های فصلی یا واروها: (در دریاچه های یخچالی)

زمستان: رسوب کم- ذرات ریز- رنگ تیره

تابستان: رسوب زیاد- ذرات درشت- رنگ روشن

علائم سطح لایه ها:

A) ترک گلی: ذرات ریز رسی پس از خروج از آب ترک گلی یا آفتابی را ایجاد می کند. در مقطع عرضی به شکل V می باشند (در محیط حد واسط و قاره ای)

- سین آرسیس: ترک گل زیر آبی بر اثر اتصال ذرات رسی یا تغییر شوری آب که کوچکتر بوده و به شکل V نیستند و عمق ترک کمتر می باشد.

B) دایک های کلاستیکی: مواد تخریبی (گراول- ماسه- گل- آسفالت- بیتومین) که با زاویه های مختلف سنگ های رسوبی را قطع می کنند و همانند دایک شکاف ها و حفرات را پر می نمایند.

- در دایک هایی که مواد از بالا وارد شده تغییر شکل در دیواره نداریم ولی آنهایی که مواد از پایین با فشار وارد شکافها شده، تغییر شکل دادیم.

C) آثار باران (rain mark): بر روی رسوبات نرم در رسوبات قاره ای دیده می شود. توجه داشته باشید که در مناطق کم باران (خشک و نیمه خشک) دیده می شوند.

D) آثار و قالب های بلوری: در شرایط مناسب، بلور در رسوب نرم تشکیل شده و با تغییر شرایط و ذوب بلور، حفره ای (قالب بلوری) باقی می ماند.

E) جدایی خطی: خطوطی که توسط جریان آب در سطح لایه های ماسه ای تشکیل می شود، به صورت تیغه ای است که با حفره ها از هم جدا می شود، در سطح لایه ها و قسمت کم شیب ریپل و مگاریپل تشکیل می شوند و در سطح لایه افقی نشانه رسوب گذاری در جریان بالای آب است.

F) آثار شیارهای جریانی (Rill cast): در رسوبات قدیمه کم دیده می شوند. اشکالی کانالی، دندانه دار و شیاری هستند که در سطح رسوبات ماسه ای در سواحل، در آبهای کم عمق دیده می شوند.

G) آثار سواش (Swash mark): در سواحل ماسه ای، در مرز بازگشت اب به دریا تیغه های نازکی به نام سواش تشکیل می شود. بخش محدب آن به طرف خشکی است.

توجه: سواش منطقه ای است که به طور متناوب از آب پوشیده شده است.

H) ساختمان های حفر شده و پر شده (Scour and fill structure):

ایجاد حفره بر اثر تغییر شدت جریان که در رسوبات رودخانه ای بیشتر مشاهده می شوند. کنده شدگی در مقیاس بزرگ را کانال گویند.

علائم سطح زیرین لایه:

در زیر ماسه سنگ ها و گاهی آهکی ها، در روی رسوبات نرم دانه ریز دیده می شود.

- در سطح بالا: Mark، در سطح زیرین: Cast.

* آثار کنده شدگی یا حفر شدگی (Scour mark):

تخریب رسوب (سطح آن) توسط جریان آب صورت می گیرد. یکی از مهمترین ساختمان های حفر شده فلوت مارک است که شامل یک سری حفره های کشیده غیر ممتد است. این حفره ها به شکل قاشق می باشند که شیب زیاد: در جهت جریان می باشد و شیب کم: خلاف درجهت جریان می باشد.

- بطور کلی scour mark شامل

A- اشکال قاشقی شکل
B- اشکال برجسته و فرو رفته
C- اشکال کانالی شکل

A) فلوت کست یا فولت مارک:
فلوت کست عبارتست از رسوب گذاری ذرات ماسه بر روی ذرات دانه ریز رسی که به باقی ماندن حفره ها در سطح زیرین فلوت کست گویند، از جهت شیب تند حفره برای تعیین جهت جریان در رسوبات به خصوص فیلیشی استفاده می شود. (شیب زیاد در جهت جریان و شیب کم در خلاف آن جهت می باشد)
B) اشکال برجسته و فرو رفته:
برجستگی ها و فرورفتگی های موازی هم که در اثر حرکت آب به صورت رشته ای ایجاد می شوند.
C) اشکال کانالی شکل:
در اثر فرسایش در رودخانه یا جویبار مشاهده می شوند. ذرات از قاعده به سمت راس ریز تر می شوند.

*** آثار تول (Tool mark):**
۱) آثار تول ثابت (stationary tool mark):
قطعاتی از مواد مختلف که پس از ته نشست مجدداً روی رسوب حرکت کرده و آثار تول ثابت را ایجاد می کنند.
۲) آثار موانع (Obstacle mark):
آب یا باد موانع خاصی مثل پیل و پوسته موجودات را دور می زنند که این عمل سبب تخریب یا رسوب پشت مانع می شود.
۳) آثار تول های متحرک (Moving tool mark):
موانع متحرک که بر روی رسوبات نرم کشیده می شوند. (مانند آثار شیاری و جناغی)
A1: آثار شیاری (groove mark):
شیارهای کشیده ای که مستقیم نسبت به هم قرار دارند و به علت کشیده شدن موانع به صورت کششی یا غلتیدن بر روی رسوبات نرم ایجاد می شوند.
A2: قالب شیاری یا (groove cast):
ته نشست رسوبات ماسه ای روی رسوبات ریز دانه و باقی ماندن آثار شیار در کف رسوب ماسه ای سبب تشکیل آنها می شود.

- توجه داشته باشید که آنها فقط امتداد جریان را مشخص می کنند و در طبقات برگشته با استفاده از این علائم می توان سطح فوقانی را از تحتانی مجزا نمود.

B: آثار جناغی (chevron mark):

به علت حرکت کند مانع در روی سطح رسی ایجاد می شوند که V شکل بوده و نوک آن در جهت جریان می باشد. گرداب های تشکیل شده توسط جریان در پشت مانع باعث تشکیل آنها می شود.

*** ساختمان های تغییر شکل یافته:**

تغییر شکل یافتن همزمان با رسوب گذاری و یا پس از عمل رسوب گذاری و قبل از سفت شدن آنها صورت می گیرد.

۱) ساختمان های وزنی (Load structure):

در سطح زیرین رسوبات ماسه ای که بر روی رسوبات گلی قرار دارند مشاهده می شود.

۲) طبقات و لا میناسیون های پیچیده (convolute bedding and lamination):

در رسوبات دانه ریز فاقد چسبندگی (ماسه ریز و سیلت) و در محیط توربیدیتی، رودخانه ای و جزر و مدی مشاهده می شوند.

- انواع آن بر اساس زمان رسوب گذاری و تغییر شکل یافتن رسوبات:

۱: لامیناسیون پیچیده بعد رسوب گذاری – دهانه پیچش به سمت بالا و پایین و فاقد قطع شدگی در داخل.

۲: لامیناسیون پیچیده با سطح تخریبی، در هنگام یا کمی بعد از رسوب گذاری، فاقد قطع شدگی در داخل.

۳: لامیناسیون پیچیده هنگام رسوب گذاری، در ناودیس پر شدگی و در طاقدیس آن قطع شدگی.

۳) ساختمان تویی و بالشی (Ball and Pillow structure):

بر اثر قرار گرفتن رسوبات ماسه ای بر روی رسوبات گلی ایجاد می شوند (علت تشکیل اختلاف وزن ماسه و گل می باشد)

۴) ساختمان های ریزشی (Slump Structure):

ساختمان های تغییر شکل یافته همزمان با رسوب گذاری که تحت گراویته در رسوبات فلیشی تشکیل می شوند.

* ساختمان های بیوژنیکی (Ichno fossil or Trace fossil):

کاملاً در محل تشکیل می شوند و دارای ۵ رخساره یا ایکنوفاسیس هستند.

در سطح رسوبات: برون زا --- در سطح لایه: ایی رلیف

-توجه در داخل رسوبات: درون زا --- در زیر لایه: هیپورلیف

*** انواع ایکنوفاسیس:**



– مقطعی از یک حوضهٔ رسوبی (الف) با مجموعه آثار فسیلی و پارامترهای موجود برای زندگی موجودات (ب) (اقتباس از هوارد، ۱۹۷۸).

* آثار فسیلی عبارتند از:

A) آثار و علائم استراحت موجودات (Resting traces):

شامل موجودات روی سطح رسوب (اپی بنتیک) و موجودات بالاتر از کف دریا و گاهی کف دریا (نکتوبنتیک) هستند.

B) آثار خزیدن (Crawling traces):

این آثار توسط انواع مختلف موجودات از قبیل کف زی ها و نکتوبنتیک ها که از محلی به محل دیگر حرکت می کنند، ایجاد می شود. آنها در حد فاصل دو لیتولوژی مشاهده می شوند.

- اثر فعالیت تریلوبیت برای تهیه غذا که معمولاً در سطح یا سطح زیرین لایه های ماسه سنگی پالئوزوئیک تحتانی وجود دارد را کروزیانا (فلات قاره) گویند.

C) آثار گریزینگ (Grazing traces):

حرکت کف زیها در نزدیکی سطح رسوب و تغذیه آنها از رسوبات را گویند که شبیه معادن روباز می باشد. (مانند نریتیس و پالئودیکیتون)

D) ساختمان حفره ای (Dwelling Structure):

حفر کردن رسوبات توسط موجودات کف زی متحرک و نیمه متحرک که از مواد معلق تغذیه می کنند که به اشکال لوله ای، u و پیچیده دیده می شوند.

E) ساختمان تغذیه ای (Feeding Structure):

توسط موجودات اندوبنتیک که از رسوب تغذیه می کنند که در داخل رسوبات شبیه معادن زیر زمینی تشکیل می شوند. (مانند کندریتس و زئوفیکوس)

F) ساختمان فراری (Escape structures):

توسط جانوران نیمه متحرک یا کم متحرک تشکیل می شود. نشانه فعالیت دینامیکی مرتبط با شرایط فیزیکی می باشد.

ساختمان های رسوبی ثانویه:

بعد از رسوب گذاری، در اثر دیاژنز تشکیل می شوند که شامل انحلال و رسوب مجدد مواد محلول می باشند.

A) کنکرسیون (concretion):

ساختمان گرد شده با منشا غیر آلی که دارای لایه های متحد المرکز منظم می باشد. (در شیلها)

B) نودول (Nodule):

دارای ساختمان داخلی نا منظم می باشند: (ندول لایه ای، نواکولیت، چرتی)

- کنکرسیون دارای ساختمان داخلی منظم ولی ندول دارای ساختمان داخلی نا منظم می باشد.

C) نودول سپتاریا (Septarian nodule):

ترک های گلی به صورت شعاعی بخصوص درون شیل ها که در وسط عریض تر هستند، در اثر از دست دادن آب سطح ندول تشکیل می شود، اگر حفره ها سخت و رسوبات پر کننده از بین برود، به ساختمان باقیمانده، ملیکاریا گویند. (Melikarid)

D) ژئود (Geode):

ساختمانی کروی، دارای حفره داخلی که سطح خارجی آن لایه کلسدونی نازک و متراکم است.

E) مخروط در مخروط (cone in cone):

ساختمانی مخروطی شکل در روی یکدیگر به جنس کلسیت که بر اثر فشار رشد سیمان (ثانویه) در کنکرسیون ایجاد می شود. غالباً درون رسوبات گلی یافت می شوند.

F) استیلولیت (stylolite):

سطوح نا منظم که بر اثر انحلال فشاری، در سنگ آهک و دولومیت بیشتر تشکیل می شود. محـور آن در جهت بیشترین نیرو می باشد.

موفق باشید

منابع

۱. رسوب شناسی - دکتر سید رضا موسوی حرمی
۲. سنگ شناسی رسوبی (تاکر) - ترجمه دکتر حرمی و دکتر محبوبی
۳. رسوب شناسی - مهندس پروین - دانشگاه پیام نور
۴. جزوه رسوب شناسی دکتر امینی - دانشگاه تهران
۵. جزوه رسوب شناسی مهندس اهری - دانشگاه علوم پایه دامغان